

# Kalayhteisön rakenteen vuodenaikaisvaihtelut syvässä ruskeavetisessä Pääjärvässä

Helsingin yliopisto  
Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta  
Ympäristömuutos ja globaali kestävyys  
Pro gradu  
Toukokuu 2021  
Emmi Eerola



Tiedekunta - Fakultet - Faculty Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta		
Tekijä - Författare – Author Emmi Eerola		
Työn nimi - Arbetets titel –Title Kalayhteisön rakenteen vuodenaikaisvaihtelut syvässä ruskeavetisessä Pääjärvässä		
Oppiaine - Läroämne - Subject Ympäristömuutoksen ja globaalin kestävyuden maisteriohjelma		
Työn laji/ Ohjaaja - Arbetets art/Handledare - Level/Instructor Pro gradu/ Kimmo Kahilainen	Aika - Datum - Month and year 05/2021	Sivumäärä - Sidoantal - Number of pages 40 s
Tiivistelmä - Referat - Abstract <p>Kaikkien lauhkealla vyöhykkeellä elävien eliöiden täytyy sopeutua ympäristöolosuhteiden suureen vaihteluun vuodenaikojen mukaan. Vuodenaikaan liittyviin muutoksiin kuuluvat muun muassa lämpötilan ja valoisuuden vaihtelut, jotka ovat selkeitä myös järvissä veden alla. Lämpötilan, ravinteiden ja valon määrät vaikuttavat järven tuottavuuteen ja siten moniin muihin tekijöihin, myös kalojen ravinnon määrään. Eri kalalajit ovat sopeutuneet erilaisiin olosuhteisiin, joissa ne pärjäävät parhaiten, ja jokaisella lajilla on oma optimilämpötilansa. Kalat ovat aktiivisimmillaan niille sopivien olosuhteiden aikaan, mikä useimmilla lajeilla on kesä, jolloin ravintoakin on saatavilla enemmän. Suurin osa kalatutkimuksista tehdään yleensä kesällä avoveden aikaan, koska se on helpompaa ja talvella kalojen ei ajatella olevan tutkimuksen arvoisia. Suuri osa maailman järvistä kuitenkin on jääpeitteen alla osan vuodesta ja talvi on iso osa kalojen elämää, minkä vuoksi niiden tutkiminen vuoden ympäri on tärkeää.</p> <p>Tämän tutkimuksen neljä pääkysymystä olivat: 1. Millä tavalla eri kalalajien, lahojen, sekä lämpötila- ja ravintokiltojen osuudet saaliista muuttuvat eri vuodenaikoina? 2. Kuinka paljon yksikkösaalis muuttuu vuoden aikana? 3. Miten kalojen koko ja kuntokerroin muuttuvat vuoden aikana? 4. Mitkä eri ympäristö- ja biologiset tekijät selittävät yksikkösaaliin muutoksia? Koekalastusta tehtiin vuosina 2020-2021 vuoden ajan koekalastusverkkojarjalla kolmessa habitaatissa: litoraalisissa, profundaalisissa ja pelagiaalisissa. Joka kuukausi kalastettiin vähintään kolmen päivän ajan. Jokaiselle saadulle kalalle määritettiin laji, pituus, paino ja kuntokerroin ja jokaiselle yksittäiselle pyyntikerralle laskettiin yksikkösaalis. Kalastuksen lisäksi Pääjärvestä otettiin joka kuukausi fysikaaliskemiallisia mittauksia.</p> <p>Koekalastuksen tulosten mukaan selvästi runsain kala Pääjärvässä oli särki, toiseksi runsain kala oli kappalemääränä ahven ja biomassana kuha. Talvea kohti särjen ja ahvenen määrät laskivat, kun taas kuhan, kiiskien ja mateen osuudet saaliista nousivat. Selvästi runsain kalalahko vuoden kokonaissaaliissa oli karppikalat, vaikka ahvenkalat olivat runsain laho lopputalvella ja lopputalvella. Lämpimänveden kaloja oli muita lämpötilakiltoja enemmän koko vuoden saaliissa, vain helmikuussa viileänveden kaloja oli enemmän, kun kiiski oli kuukauden runsain kala. Petokalojen kappalemääräosuus saaliista oli jokaisena kuukautena muita ravintokiltoja pienempi, mutta talvella petokalojen biomassasuus saaliista oli suurin. Yksikkösaalis oli alhaisimmillaan jääpeitteisinä kuukausina ja suurimmillaan kesällä. Kalojen keskikoko oli talvella kesää suurempi ja kuntokerroin alhaisempi. Kappaleyksikkösaaliin muutoksia eniten selittivät kuntokerroin, lämpötila, typpipitoisuus ja pH, kun taas biomassayksikkösaaliin muutoksia eniten selittivät kuntokerroin, lumensyvyys, lämpötila ja kokonaishiili. Pääjärven kalayhteisön rakenteessa tapahtui muutoksia vuodenaikojen välillä. Selkein muutos oli yksikkösaaliin muutos kesän ja talven välillä. Pääjärven lisäksi ympärivuotista kalatutkimusta pitäisi tehdä morfologisilta ja fysikaaliskemiallisilta piirteiltään erilaisissa järvissä, jotta saataisiin tietoa, miten kalayhteisö reagoi eri vuodenaikoihin eri olosuhteissa.</p>		
Avainsanat - Nyckelord yksikkösaalis, vuodenaika, koeverkkoalastus, kesä, talvi, kuntokerroin, ravinteet, lämpötila		
Säilytyspaikka - Förvaringsställe - Where deposited HELDA – Helsingin yliopiston digitaalinen arkisto		
Muita tietoja - Övriga uppgifter - Additional information		

## Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	1
1.1	Tutkimuskysymykset ja hypoteesit .....	5
2	Menetelmät.....	6
2.1	Tutkimusjärvi ja kalasto .....	6
2.2	Aineistonkeruu .....	8
2.3	Tilastolliset analyysit .....	9
3	Tulokset.....	10
3.1	Tutkimuskysymys 1 .....	10
3.2	Tutkimuskysymys 2 .....	13
3.3	Tutkimuskysymys 3 .....	17
3.4	Tutkimuskysymys 4 .....	21
4	Tulosten tarkastelu .....	23
4.1	Päätulokset .....	23
4.2	Hypoteesi 1: Kalaosuudet .....	23
4.3	Hypoteesi 2: Yksikkösaaliin muutokset.....	27
4.4	Hypoteesi 3: Kuntokertoimen ja koon muutokset.....	28
4.5	Hypoteesi 4: Yksikkösaalista selittävät tekijät.....	30
5	Johtopäätökset.....	32
6	Kiitokset.....	33
7	Lähteet.....	34

# 1 Johdanto

Lauhkealla vyöhykkeellä on neljä erilaista vuodenaikaa, joilla on kaikilla omat ominaispiirteensä. Nämä vuodenaikat vaikuttavat järviin ja siellä eläviin eliöihin suuresti. Esimerkiksi lämpötila ja valoisuus muuttuvat paljon vuoden aikana (Shuter ym., 2012; Hampton ym., 2017; Fernandes ja McMeans, 2019; McMeans ym., 2020; Marsden ym., 2021). Kesä on Suomen leveysasteilla usein lämmin ja auringon valo lämmittää järvien pintavettä. Järviin, jotka ovat tarpeeksi syviä, muodostuu lämpötilakerrostuminen, jonka aikana päällysvesi on lämmintä, yleensä yli 15 astetta ja alusvesi viileämpää, noin neljä astetta (Suski ja Ridgway, 2009; Bruesewitz ym., 2015; McMeans ym., 2020). Kesällä järviin tulee paljon valoa, koska päivät ovat pitkiä, ja auringon valon ansiosta järvissä on paljon perustuotantoa ja siten myös runsaasti ravintoa (Shuter ym., 2012).

Suomen järvet ovat yleensä dimiktisiä, eli vesipatsaan täyskierto tapahtuu kaksi kertaa vuodessa, jolloin lämpötilakerrostuneisuus purkautuu. Täyskierron tapahtumat tapahtuvat keväällä ja syksyllä (McMeans ym., 2020). Vesi on siis näihin aikoihin tasalämpöistä pinnasta pohjaan, mutta keväällä vesi alkaa lämmitä ja valoa on enemmän, kun taas syksyllä vesi alkaa viiletä ja valo vähentyä (Suski ja Ridgway, 2009; McMeans ym., 2020). Talvella järviin muodostuu päinvastainen lämpötilakerrostuneisuus, jolloin kylmin, lähellä nollaa oleva vesi on pinnalla ja lämpimämpi, noin neliasteinen vesi on pohjassa (Bruesewitz ym., 2015; McMeans ym., 2020). Talvi vaikuttaa järven valo-olosuhteisiin, koska päivän pituus on lyhyt ja valon pääsy veteen estyy jääpeitteen takia. Tämä rajoittaa perustuotantoa ja jää vähentää myös hapen liukenemista veteen (Hampton ym., 2017; McMeans ym., 2020; Marsden ym., 2021).

Kalat on jaettu optimilämpötilan mukaan lämpimän-, viileän- ja kylmänveden lajeihin (Magnuson ym., 1979; McMeans ym., 2020). Lämpimänveden kalat sietävät heikoimmin kylmää, eivätkä kylmän veden aikaan juurikaan kerää energiaa, toisin kuin kylmänveden kalat. Lämpimänveden kalat selviävät vähemmällä hapella kuin viileämpien vesien kalat (Pörtner, 2002; Shuter ym., 2012). Kalojen ruumiinlämpötila seuraa tarkasti veden lämpötilaa (Beitinger ja Fitzpatrick, 1979). Lohikalat ovat sopeutuneet kylmiin ja hapekkaisiin vesiin, kun taas särkikalat ovat sopeutuneet päinvastaisiin oloihin (Shuter ym., 2012). Kesällä viileämpään veteen sopeutuneet kalat viihtyvät termokliinin alapuolella ja lämpimämpään veteen sopeutuneet lajit viihtyvät paremmin pinnassa ja litoraalissa. Talvella jakautuminen on päinvastainen (Fernandes ja McMeans, 2019). Eri kalalajit ovat erilaisten lämpötilojen lisäksi sopeutuneet eri valoisuuden määriin, ja kalat voivat saada kilpailuetua

toiseen saman lämpötilaoptimin omaavaan lajiin verrattuna, jos valon määrä on sille suotuisampi (McMeans ym., 2020).

Talvi voidaan määritellä monilla tavoilla, kuten päivän pituudella ja auringon paistokulmalla tai järven jääpeitteisellä ajalla, mutta lauhkealla vyöhykkeellä limnologisessa tutkimuksessa eräs käytetty määritelmä on päinvastaisen lämpötilakerrostumisen aika järvissä (Marsden ym., 2021). Lämpötila on tärkein kalojen käyttäytymiseen vaikuttava tekijä, ja se säätelee myös muita järven ominaisuuksia, jotka vaikuttavat kalojen elämään, kuten hapen liukenemista, jota tapahtuu enemmän kylmässä kuin lämpimässä vedessä (Marsden ym., 2021). Valon vähäisyys antaa talvella kilpailuedun pimeässä saalistavalle mateelle (*Lota lota*), joka voi hyödyntää suurempaa aluetta veden ollessa kylmempää (McMeans ym., 2020). Viileänveden lajeille sopiva alue järvessä kasvaa talvella, ja ne voivat liikkua myös litoraaliin, kun taas lämpimänveden kalat menettävät lämpötilaoptiminsa (Marsden ym., 2021).

Lauhkean vyöhykkeen järvet pysyvät jäässä muutamia kuukausia, mikä mahdollistaa monenlaiset olosuhteet vuoden aikana. Tämän ansiosta näissä järvissä voi olla suuri biodiversiteetti verrattuna pohjoisempiin järviin (McMeans ym., 2020). Boreaalisissa järvissä on yleensä yli 10 kalalajia, mutta napapiirin pohjoispuolella lajeja on usein vähemmän (Tammi ym., 2003; Lehtonen ym., 2008). Erilaiset olosuhteet järvissä eri vuodenaikoina vaikuttavat kalalajien väliseen kilpailuun, jolloin jotkut lajit pärjäävät paremmin talvella ja jotkut kesällä (McMeans ym., 2020). Lajit vaihtavat habitaattia eri vuodenaikoina, ja generalistit voivat myös vaihtaa ravinnonkohdettaan (Hayden ym., 2015; McMeans ym., 2020).

Kalat kasvavat Suomessa pääasiallisesti kesällä (Jackson, 2007), mutta made pystyy kasvamaan myös talvella (Kjellman ja Eloranta, 2002). Kesän kasvukautena lämpimänveden kalat myös syövät enemmän kuin talvella, jolloin ne eivät syö melkein lainkaan (McMeans ym., 2020). Lämpimänveden kalat eivät myöskään ui aktiivisesti kylmän veden aikaan, vaan pysyvät enimmäkseen paikallaan (McMeans ym., 2020; Marsden ym., 2021). Talvella monien kalojen ravinnonlähteitäkin on vähemmän tarjolla kuin kesällä, joten ruoan löytäminen on vaikeampaa (McMeans ym., 2020). Poikkeuksena ovat petokalat, jotka vähentävät syömistään muita kaloja vähemmän, koska saaliskaloja on tarjolla myös talvella ja ne pääsevät kylmällä huonommin pakoon (Marsden ym., 2021). Koska lämpimänveden kalat liikkuvat talvella vähän, niitä saadaan kalaverkoillakin vain vähän saaliiksi.

Eri lämpötilaoptimin omaavat kalat kutevat pääsääntöisesti eri aikoina vuodesta. Lämpimän- ja viileänveden kalat kutevat keväällä tai kesällä, ja kylmänveden lajit kutevat usein syksyllä tai talvella (Fernandes ja McMeans, 2019). Kalojen gonadit turpoavat hieman ennen kutuaikaa, mikä vaikuttaa niiden energiantarpeeseen (Hayden ym., 2014; Keva ym., 2019; McMeans ym., 2020). Syyskutuiset kalat voivat kerätä energiaa ennen kutua, mutta kevätkutuisilla lajeilla ravintoa on enemmän saatavilla kudun jälkeen. Eräs merkki kaloille kudun aloittamisesta on valoisuuden, eli päivän pituuden, vaihtelu. Toinen merkki voi olla lämpötilan vaihtelu, kuten kesän lämpötilakerrostuneisuuden purkautuminen (Wanzenböck ym., 2012). Valoisuuden vaihtelu vaikuttaa kudun lisäksi kasvun vuodensisäisiin muutoksiin (Talbot, 1993). Kalojen aktiivisuus lisääntyy kudun jälkeen, ja silloin kalat syövät paljon (Tveiten ym., 1996; Virbickas ym., 2021).

Järviä tutkitaan enimmäkseen kesällä, koska talvella jää ja alhaiset lämpötilat aiheuttavat haasteita. Talvi vaikuttaa eliöiden elämään järvessä, ja näiden vaikutusten tutkiminen on tärkeää, jotta voidaan tarkastella koko järviekosysteemiä (Hampton ym., 2017). Ympärivuotinen tutkimus on tarpeellista myös siksi, että edellisen vuodenajan olosuhteet järvessä voivat vaikuttaa saman järven olosuhteisiin seuraavana vuodenaikana (Hampton ym., 2017). Aiemmissa Pohjois-Lapin tutkimuksissa kalojen yksikkösaalis oli talvella huomattavasti pienempi verrattuna kesään, ja kalojen kunto oli jonkin verran alhaisempi talvella (Hayden ym., 2014; Hayden ym., 2015; Keva ym., 2019).

Koekalastusverkkosarjaa käytetään usein kalayhteisön rakenteen tutkimisessa (Hovgard, 1996; Radomski ym., 2020). Verkkokalastus on halpa kalantutkimustekniikka, joka ei vaadi paljoa vaivaa verrattuna esimerkiksi troolaukseen ja sähkökalastukseen. Kalaverkko on toisaalta passiivinen pyydys, johon kalan täytyy itse uida jäädäkseen saaliiksi (Kurkilahti, 1999; Šmejkal ym., 2015). Kalaverkko on myös hyvin selektiivinen pyydys, joka pyytää vain aktiivista kalaa yhdeltä alueelta, ja jossa yksittäinen solmuväli pyytää tietynkokoista kalaa (Kurkilahti, 1999). Tutkimuskalastuksessa käytetyt solmuvälit valitaankin niin, että kaiken kokoisia ja lajisia kaloja saadaan saaliiksi (Appelberg ym., 1995; Radomski ym., 2020).

Kalat jäävät verkkoon kiinni eri tavoilla, ja tämä tapa on riippuvainen kalan morfologiasta (Lucchetti ym., 2020). Tärkein tekijä kalan verkkoon jäämisessä on kalan ympärysmitta (Kurkilahti ym., 2002). Ruumiin ulokkeet, kuten ahvenkalojen piikit, lisäävät todennäköisyyttä jäädä verkkoon, ja toisaalta sulavan ruumiin omaavat kalat eivät jää

verkkoon useinkaan, vaan uivat sen läpi. Todennäköisyys verkkoon jäämiselle kasvaa kalan aktiivisuuden kasvaessa, eli aktiivisesti liikkuvat kalat jäävät todennäköisemmin verkkoon (Olin, 2005). Tämä voi aliarvioida passiivisempien kalojen osuuden kalayhteisöstä. Koekalastusverkkosarjat pyytävät tehokkaammin isoja kuin pieniä kaloja, koska isot kalat ovat aktiivisempia ja kohtaavat verkon todennäköisemmin. Alle viisisenttisiä kaloja ei saada verkoilla pyydettyä lainkaan, koska niiden uintinopeus ei riitä saamaan niitä jäämään pyydykseen (Appelberg ym., 1995).

Verkkomateriaalin, eli havaksen, ominaisuudet ovat tärkeitä, kun puhutaan verkon pyytävyydestä. Materiaali ja paksuus vaikuttavat suoraan siihen, kuinka hyvin kala jää kiinni verkkoon sen kohdatessaan (Kurkilahti, 1999). Mitä joustavampi ja ohuempi materiaali, sitä paremmin kala sotkeutuu verkkoon ja jää siihen kiinni. Havaksen väri ja paksuus, sekä valoisuus vaikuttavat verkon näkyvyyteen vedessä, mikä voi johtaa siihen, että kalat välttävät verkon (Kurkilahti, 1999). Turunen ym. (1998) tutkimuksessa todettiin, että ohut havasmateriaali pyytää kalaa yli kaksi kertaa paremmin kuin paksu, ja talviolioissa jään alla ero on vielä suurempi. Tiheiden verkkojen havas on jäykkää verrattuna harvoin verkkoihin, koska solmujen välissä olevien lankojen pituus on lyhyt. Tämä tekee tiheästä verkosta kaloille helposti havaittavan, jolloin kalat eivät ui siihen (Prchalová ym., 2009). Tärkein syy tiheiden verkkojen heikolle pyytävyydelle on kuitenkin se, että pienet kalat uivat hitaasti, eivätkä siten jää kiinni verkkoon (Rudstam ym., 1984).

NORDIC-verkko on koekalastukseen kehitetty kalaverkko, jossa yhdessä verkossa on monta solmuväliä. NORDIC-verkko kehitettiin, jotta saataisiin yhtenäinen kalantutkimusmenetelmä, ja eri tutkimuksien tulokset olisivat vertailtavissa (Appelberg ym., 1995; Kurkilahti, 1999). NORDIC-verkon pitäisi teoriassa pyytää tasaisesti eri kokoista kalaa verrattuna aikaisempiin kalantutkimusmetodeihin (Appelberg ym., 1995). Se on kuitenkin hyvin selektiivinen eri pituisille kaloille (Kurkilahti, 1999). Suurempaa kalaa saadaan NORDIC-verkosta suuremmalla todennäköisyydellä kuin hyvin pientä, eli verkon pyytävyys kasvaa solmuvälin suurentuessa. Tämä johtuu siitä, että suuremmat kalat ovat aktiivisempia, uivat nopeammin ja pienellä solmuvälillä varustettu verkkopaneeli näkyy paremmin vedessä (Rudstam ym., 1984; Prchalová ym., 2009). Kurkilahti ja Rask (1996) tutkivat NORDIC-verkon ja verkkosarjan pyytävyyden eroja kahdessa erilaisessa järvessä. Eri verkkojen pyytävyyden erot olivat erilaiset eri järvissä, minkä takia samaa asiaa pitäisi tutkia monissa eri kokoisissa ja muotoisissa järvissä. NORDIC-verkko siis nähtävästi pyytää eri tavalla erilaisissa järvissä.

## 1.1 Tutkimuskysymykset ja hypoteesit

Tämän pro gradu -tutkielman pääkysymykset ovat: (1) Millä tavalla eri kalalajien, lämpötilakiltojen (lämpimän-, viileän- ja kylmänveden kalat), ravintokiltojen (petokalat ja muut) ja lahkojen (karppikalat, ahvenkalat, lohikalat ja muut) osuudet kokonaissaaliista muuttuvat eri vuodenaikoina? (2) Kuinka paljon kappale- ja biomassayksikkösaalis muuttuu vuoden aikana kokonaisuudessaan ja habitaateittain? (3) Miten kalojen koko ja kuntokerroin muuttuvat vuoden aikana? (4) Mitkä eri ympäristö- (veden lämpötila, happipitoisuus, valonmäärä, kokonaishiili, kokonaisfosfori, kokonaistyyppi, klorofylli-a, vedenväri, pH, jäänpaksuus ja lumensyvyys) ja biologiset tekijät (kuntokerroin, keskipaino, keskipituus) selittävät yksikkösaaliin muutoksia?

Pääkysymysten hypoteesit ovat esitettynä seuraavassa:

*Hypoteesi 1.* Runsaimmat lajit kalasaaliissa ympäri vuoden ovat särki ja ahven (Viljanen, 1972; Sairanen, 2006). Talvella saaliiksi tulee eniten viileänveden lajeja ja kesällä puolestaan lämpimänveden lajeja (Shuter ym., 2012; Fernandes ja McMeans, 2019). Kesällä suurin osuus saaliista on karppikaloja ja talvella suurin osuus on ahvenkaloja, koska karppikalat ovat lämpimänveden kaloja ja ahvenkalat suurimmaksi osaksi viileänveden kaloja. Petokaloja tulee saaliiksi vähemmän kuin muita kaloja kaikkina kuukausina, koska petokalalajeja on Pääjärvässä vähemmän kuin muuta ravintoa käyttäviä kalalajeja (Viljanen, 1972; Sairanen, 2006).

*Hypoteesi 2.* Sekä kappale-, että biomassayksikkösaalis on suurempi kesällä kuin talvella kaikissa habitaateissa (Hayden ym., 2015). Sekä kappale-, että biomassayksikkösaalis on suurin litoraalissa, koska litoraalissa on kaloille eniten ravintoa. Kappale- ja biomassayksikkösaalis on vastaavasti pienin profundaalissa, koska profundaalissa on vähiten ravintoa ja valoa vuoden ympäri, sekä huonot lämpötilaolot monille lajeille.

*Hypoteesi 3.* Kalojen keskimääräinen kuntokerroin on korkeampi kesällä ja syksyllä kuin talvella ja keväällä, koska kesällä kalat ovat paremmin ravittuja (Keva ym., 2017). Kalojen keskipaino ja -pituus ovat suurempia talvella kuin kesällä, koska talvella kookkaammat kalat ovat pieniä kaloja aktiivisempia. Tämä johtuu siitä, että suuremmilla kaloilla on enemmän vararavintoa, ja petokaloille riittää talvellakin saalista (Fernandes ja McMeans, 2019).



*Hypoteesi 4.* Yksikkösaalista selittävistä ympäristömuuttujista veden lämpötila, valonmäärä, fosforipitoisuus, klorofylli-a ja pH vaikuttavat positiivisesti yksikkösaaliiseen, koska näiden muuttujien arvot ovat suurempia kesällä. Happipitoisuus, vedenväri, hiilipitoisuus, typpipitoisuus, jäänpaksuus ja lumensyvyys vaikuttavat negatiivisesti yksikkösaaliiseen, koska näiden muuttujien arvot ovat suurempia talvella. Selittävistä biologisista muuttujista kuntokerroin vaikuttaa yksikkösaaliiseen positiivisesti ja kalan koko negatiivisesti, koska kuntokerroin on korkeampi kesällä, ja kalojen keskimääräinen koko on suurempi talvella. Usean selittävän muuttujan regressioanalyysissä eniten yksikkösaalista selittäviä muuttujia ovat veden lämpötila, kuntokerroin, lumensyvyys, jäänpaksuus, valonmäärä ja klorofylli-a, koska näiden muuttujien arvoissa on selvää vuodenaikaista vaihtelua.

## **2 Menetelmät**

### **2.1 Tutkimusjärvi ja kalasto**

Lammin Pääjärvi (61° 04' P ja 25° 08' I) sijaitsee Etelä-Suomessa, Hämeenlinnan kaupungin alueella, ja se on Kokemäenjoen vesistön latvajärviä. Pääjärvi on keskikokoinen humusjärvi 102,9 metriä merenpinnan yläpuolella, ja sen pinta-ala on 13,42 km<sup>2</sup>, keskisyvyys 14,4 m ja suurin syvyys 85 m (Sairanen, 2006). Pääjärvi on säännöstelty järvi, ja sen valuma-alueen koko on 210,1 km<sup>2</sup> (Sairanen, 2006; Huotari ym., 2013). Valuma-alue on pääosin metsää, suota ja peltoa (Sairanen, 2006). Pääjärven rannalla on paljon haja-asutusta. Järveen laskee monta puroa ja jokea, ja Pääjärven vedet laskevat pois Teuronjokea pitkin.

Pappilanlahdesta mitattiin tätä tutkimusta varten joka kuukausi valonmäärä LI-COR valomittarilla aallonpituusalueella 400-700 nm, secchi-syvyys (m) ja talviaikaan jäänpaksuus (cm) ja lumensyvyys (cm). Jäänpaksuus mitattiin kolmesta jäältä sahatusta palasta, joista laskettiin keskiarvo. Lumensyvyys mitattiin jäämittausten vierestä kolmesta kohdasta, joista laskettiin keskiarvo. Syvänteeltä mitattiin kuukausittain kokonaisfosfori (µg/l), kokonaistyyppi (µg/l), orgaaninen kokonaishiili (mg/l), väri (mg/l Pt), klorofylli-a (µg/l) ja pH. Veden lämpötila (°C), happipitoisuus (mg/l) ja happisaturaatio mitattiin kuukausittain syvänteeltä YSI mittarilla. Nämä kolme mittausta kuuluvat osana Pääjärven vedenlaadun seurantaan. Pääjärvi on oligo- ja mesotrofisen järven rajamaastossa ja sen vedenlaatu on hyvä (Taulukko 1). Kaikki nämä kuukausittaiset mittaukset ovat tärkeitä kalastotutkimuksessa, koska ne vaikuttavat kalojen elämään ja siten auttavat selittämään yksikkösaaliin muutoksia.

Taulukko 1. Tutkimusjakson aikana mitatut vesikemialliset ja fysikaaliset arvot. Kompensaatioisyvyys tarkoittaa syvyyttä, jossa pinnan valosta on jäljellä 1%. Kok-P=kokonaishosfori, kok-N=kokonaistyppe, kok-C=kokonaishiili, klor-a=klorofylli-a.

Suure	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu
Secchi-syvyys (m)	1,8	1,6	1,6	2	1,8	1,5	2	2	1,8	2,2	1,8	1,8
Lämpötila 0-3m (°C)	1,9	0,8	1,0	1,9	6,0	19,5	17,1	20,5	13,6	11,7	7,0	4,2
Lämpötila 3-20m (°C)	1,9	1,4	1,5	1,8	5,8	8,9	10,2	10,7	10,5	10,6	7,0	4,2
Kompensaatioisyvyys (m)	1	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	3	2,5	3	3	2,5	2,5
Valo 0-3m	1,5	6,4	6,4	63,9	91,3	450,2	149,8	47,1	22,4	29,8	93,1	0,5
Valo 3-20m	0,0003	0,004	0,004	0,02	0,05	0,1	0,2	0,05	0,06	0,06	0,03	0,0003
Happisaturaatio 0-3m (%)	91,7	91,1	93	90,3	101,2	109,8	97,6	101,5	94,2	94,3	91,4	93,3
Happisaturaatio 3-20m (%)	90,2	88,4	89	88,6	98,9	93,8	89,7	82,8	83,6	87,3	89,8	91,2
Happi 0-3m (mg/l)	12,7	13	13,2	12,5	12,6	10,1	9,4	9,1	9,8	10,2	11,1	12,2
Happi 3-20m (mg/l)	12,5	12,4	12,5	12,3	12,4	10,9	10,1	9,2	9,3	9,7	10,9	11,9
Kok-P (µg/l)	10	10	9	12	12	11	11	9	8	9	8	10
Kok-N (µg/l)	1452	1318	1319	1531	1475	1322	1302	1250	1278	1308	1420	1420
Kok-C (mgC/l)	12,1	12,4	12,4	12,2	12,3	12,3	11,6	11,2	11,5	10,8	11,5	11,9
väri (Pt/l)	83	85	83	87	85	81	77	73	73	69	75	81
pH	7,2	7,2	7,2	7,1	7,2	7,4	7,3	7,4	7,3	7,3	7,1	7,2
klor-a (µg/l)	0,3	0,3	0,6	1,1	2,5	5,7	3,6	5,5	3,4	2,1	1	0,6
Jäänpaksuus (cm)	10,5	27	36,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lumensyvyys (cm)	5	8,2	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Pääjärvestä on vuosien saatossa tutkimuksissa saatu yhteensä 21 kalalajia, joihin kuuluvat: ahvenkalat; ahven (*Perca fluviatilis*), kuha (*Sander lucioperca*) ja kiiski (*Gymnocephalus cernua*), karppikalat; särki (*Rutilus rutilus*), salakka (*Alburnus alburnus*), sorva (*Scardinius erythrophthalmus*), lahna (*Abramis brama*), ruutana (*Carassius carassius*), suutari (*Tinca tinca*) ja kivennuoliainen (*Barbatula barbatula*), lohikalat; muikku (*Coregonus albula*), siika (*Coregonus lavaretus*), nieriä (*Salvelinus alpinus*), puronieriä (*Salvelinus fontinalis*), taimen (*Salmo trutta*) ja kirjolohi (*Oncorhynchus mykiss*), haukikalojen lahkoon kuuluva hauki (*Esox lucius*), kuorekalojen lahkoon kuuluva kuore (*Osmerus eperlanus*), turskakala made (*Lota lota*), ankeriaskala ankerias (*Anguilla anguilla*) ja simppukala kivisimppu (*Cottus gobio*) (Viljanen, 1972; Viljanen, 2000; Sairanen, 2006; Ruuhijärvi ym., 2014). Pääjärveen on istutettu kirjolohta, nieriää, puronieriää, ankeriasta, taimenta, kuhaa ja siikaa (Sairanen, 2006). Tässä koekalastuksessa saatiin saaliiksi yhteensä 12 lajia, jotka olivat ahven, kuha, kiiski, särki, salakka, sorva, lahna, muikku, siika, hauki, kuore ja made.

Lohikalat siika ja muikku kutevat syksyllä, mutta niiden ruokavalio on erilainen; siika on generalisti ja muikku on planktivori (Taulukko 2) (esim. Kottelat ja Freyhof, 2007; Kahilainen ym., 2017; Sarvala ym., 2020). Karppikalat kutevat keväällä tai kesällä (esim. Bašić ym., 2017). Karppikaloista särki on omnivori, salakka on planktivori, lahna benthivori ja sorva omnivori, mutta vanhempana se suosii eniten kasviravintoa (esim. Horppila ja Kairesalo, 1992; Nurminen ym., 2003; Morozov ym., 2017; Olin ym., 2017). Made ja hauki ovat petoja, made kutee talvella ja hauki keväällä (esim. Virbickas ym., 2021; McMeans ym., 2020). Ahvenkalat ahven, kuha ja kiiski kutevat kaikki keväällä, mutta käyttävät erilaista ravintoa. Kuha on peto, kiiski benthivori ja ahven generalisti, jonka yli 15 cm pituisia yksilöitä pidetään petoina (esim. Eloranta ym., 2017; Malinovsky ym., 2018).

Taulukko 2. Pääjärvestä tässä tutkimuksessa saatujen kalojen lahkot, lämpötilaluokat ja ravintokohteet.

	Karppikalat	Ahvenkalat	Lohikalat	Muut	Lämpimän veden laji	Viileän veden laji	Kylmän veden laji	Petokala	Planktivori	Benthivori	Generalisti	Omnivori
Särki	X				X							X
Salakka	X				X				X			
Sorva	X				X							X
Lahna	X				X					X		
Ahven		X				X					X	
Kuha		X			X			X				
Kiiski		X				X				X		
Muikku			X				X		X			
Siika			X				X				X	
Hauki				X		X		X				
Made				X			X	X				
Kuore				X			X		X			

## 2.2 Aineistonkeruu

Aineiston keräys alkoi huhtikuussa 2020 ja päättyi maaliskuussa 2021. Osallistuin aineiston keräämiseen marraskuusta maaliskuuhun ja tallensin suuren osan datasta. Tässä tutkielmassa käsittelin koko vuoden aineiston. Koekalastusta tehtiin joka kuukausi vähintään kolmen päivän ajan (Taulukko 3). Kalayhteisön tutkimus tapahtui koekalastusverkoilla, joita laitettiin veteen kolmeen päähabitaattiin: litoraaliin, profundaaliin ja pelagiaaliin. Pyyntisyvyys oli vuoden aikana litoraalissa 1-5 m, profundaalissa 7-20 m ja pelagiaalissa 0-4 m. Jokaiseen kolmeen habitaattiin laitettiin yhdeksän verkkoa, jotka sidottiin yhdeksi verkkosarjaksi satunnaisessa järjestyksessä. HAPRO-verkkosarjaan kuului kahdeksan 1,8m x 30m verkkoa, joiden solmuvälit olivat 12, 15, 20, 25, 30, 35, 45 ja 60 mm, sekä 1,5m x 30m NORDIC-verkko, joka koostuu 12 samankokoisesta 2,5 metriä leveästä paneelista, joissa on solmuvälit 5 millimetristä 55 millimetriin.

Taulukko 3. Koekalastusverkkojen kokemiskerrat tutkimusjakson aikana. Talvella jäänalaisen kalastuksen aikaan verkkoja koettiin useammin.

Habitaatti	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Yht.
Litoraali	6	5	7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45
Profundaali	3	5	7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	42
Pelagiaali	3	5	7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	42
Yht.	12	15	21	9	9	9	9	9	9	9	9	9	129

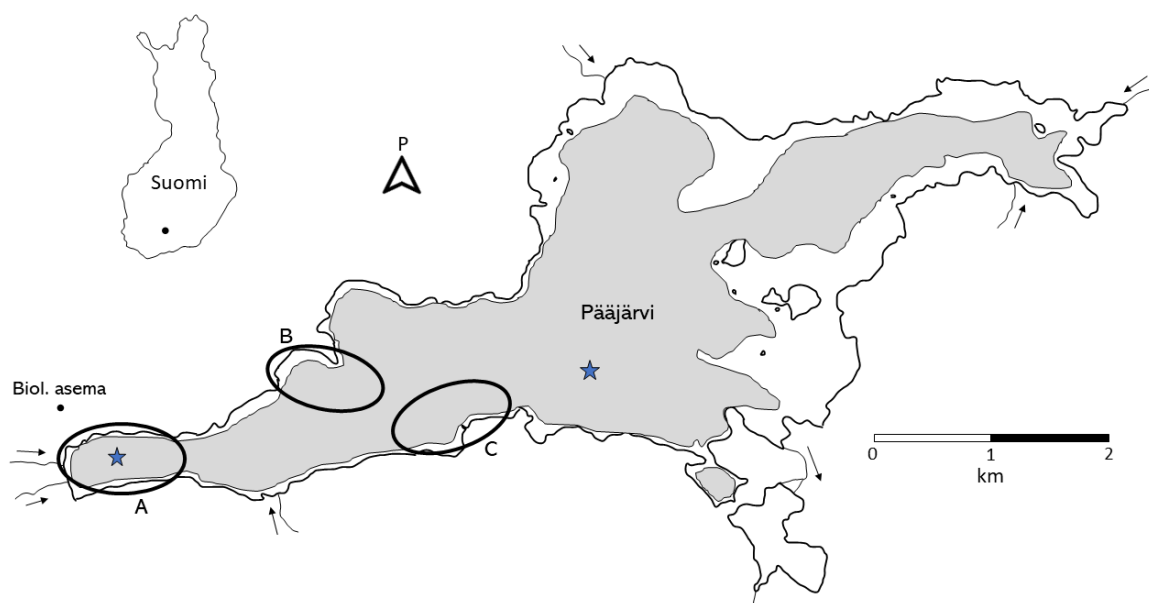
Kalastus tapahtui jään alta tammi-maaliskuussa 2021, jolloin verkot uitettiin laudalla kokuavannolta kolmeen eri suuntaan. Muina kuukausina verkot laitettiin pyyntiin veneestä. Pyyntisyvyys mitattiin kesällä kaikuluotaimella ja talvella tarkoitukseen muokatun pilkin avulla. Jääpeitteiseen aikaan verkot laitettiin pyyntiin ja koettiin päivällä. Verkot olivat pyynnissä 1-4 päivää, jotta saatiin riittävän suuri yksikkösaalis. Avovesiaikaan verkot laitettiin pyyntiin illalla/iltapäivällä ja koettiin aamulla, eli verkot olivat pyynnissä yhden yön. Talvikalastusta tehtiin käytännön syistä vain Pääjärven Pappilanlahdella, jossa

jokaisessa kolmessa habitaatissa oli omat pysyvät avantonsa. Avovesiaikaan verkot vietiin eri päivinä kolmelle eri alueelle: Pappilanlahteen, Luolahteen ja Kaunisniemen alueelle (Kuva 1). Kun verkot koettiin, avovesiaikaan saalista viilennettiin jäiden avulla, kaikki kalat irrotettiin verkoista, jokaiselle kalalle määritettiin yksilöittäin laji, kokonaispituus kuonon päästä yhteen puristetun pyrstön päähän millimetrin tarkkuudella ja paino gramman kymmenesosan tarkkuudella. Jokaisesta verkon solmuvälistä tulleet kalat kirjattiin erikseen. Jokaisen pyyntikerran erillisen verkkosarjan vedessäoloaika jaettiin verkkosarjasta saadun saaliin määrällä, jotta saatiin lasketuksi yksikkösaalis.

Kaloille määritettiin Fultonin kuntokerroin (K) kaavalla:

$$K = M / KP^3 \times 100,$$

jossa M on kalan massa (g) ja KP on kalan kokonaispituus (cm) (Froese, 2006).



Kuva 1. Pääjärven sijainti Suomessa ja yksityiskohtainen kartta, johon on merkitty ovaaleilla koekalastuksen paikat vuoden aikana: A: Pappilanlahti, B: Kaunisniemi, C: Luolahti. Sinisillä tähdillä on merkitty vesikemian näytteenottoaikat Pappilanlahti ja Pääjärven syvänte. Harmaa alue merkitsee yli kolmen metrin syvyydessä olevaa profundaalia ja pelagiaalia, valkoinen alue litoraalia.

## 2.3 Tilastolliset analyysit

Ennen tilastollisia analyysejä kaikki kappale- ja biomassayksikkösaaliit muunnettiin  $\text{LOG}_{10}(x+1)$  muotoon, jotta arvot saatiin lähemmäksi normaalijakaumaa. Yksisuuntaisella varianssianalyysillä testattiin kappale- ja biomassayksikkösaaliin kuukausien välisiä eroja kokonaissaaliissa ja habitaateittain, merkitsevyystasolla 95%. Jos varianssianalyysin tuloksena yksikkösaaliissa oli tilastollisesti merkittävää eroa, eroja tutkittiin Tukeyn

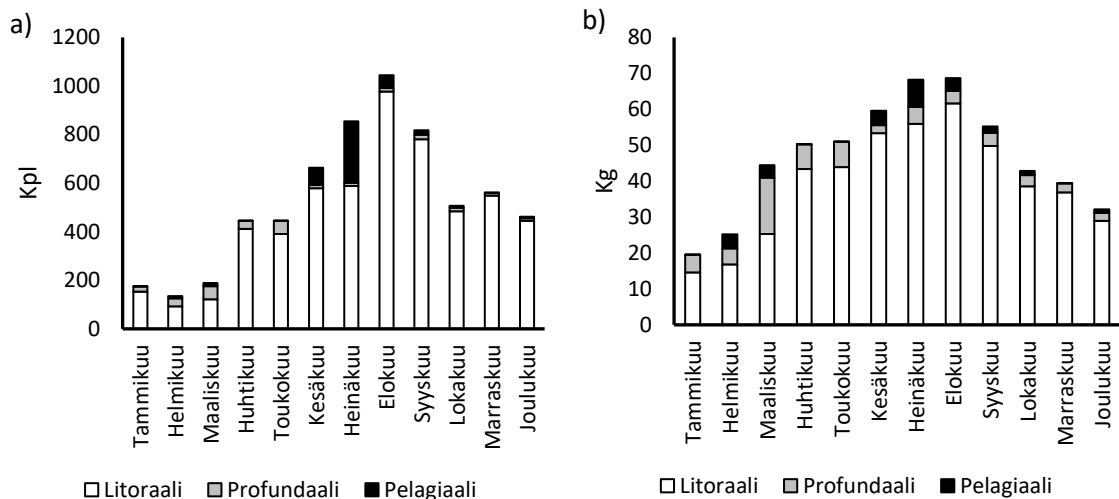
parittaisilla vertailutesteillä, jotta saatiin selville minkä välillä eroja on. Varianssianalyysillä testattiin myös raaka-arvoina olevien keskipainon, keskipituuden ja kuntokertoimen eroja saaliissa kuukausittain merkitsevyystasolla 95%, ja parittaisia eroja vertailtiin Tukeyn testillä.

Kappale- ja biomassayksikkösaalista mahdollisesti selittäviä ympäristö- (veden lämpötila, happipitoisuus, valonmäärä, hiilipitoisuus, fosforipitoisuus, typpipitoisuus, klorofylli-a, vedenväri, pH, jäänpaksuus ja lumensyvyys) ja biologisia (kuntokerroin, keskipaino ja keskipituus) muuttujia testattiin Pearson-korrelaatioanalyysillä, sekä usean selittävän muuttujan regressioanalyysillä, käyttäen askeltavaa lähestymistapaa, merkitsevyystasolla 95%. Muuttujien mukaan valitsemiseen sovellettu raja-arvo oli F:n todennäköisyys 0,05.

### 3 Tulokset

#### 3.1 Tutkimuskysymys 1

Vuoden aikana saatiin kuukaudessa keskimäärin 525 kappaletta ja 46 kg kaloja. Eniten saalista saatiin kesällä ja vähiten talvella (Kuva 2). Eniten saalista saatiin litoraalista. Toiseksi eniten kalaa saatiin pelagiaalista, koska kesällä sieltä tuli monta yksilöä. Profundaalista tuli vuositasolla vähiten kalaa, kuitenkin muina kuin kesäkuukausina enemmän kuin pelagiaalista.



Kuva 2. Saaliskalojen määrä vuoden aikana kuukausittain (a) ja saaliskalojen biomassa vuoden aikana kuukausittain (b).

Pääjärven kalalajeista valtalaji oli särki, jota tuli vuoden aikana saaliiksi 3287 kappaletta, kun toiseksi runsainta lajia, ahventa, saatiin 1475 kappaletta. Kolmanneksi runsain laji oli kuha, neljänneksi salakka ja viidenneksi kiiski. Muita lajeja tuli huomattavasti vähemmän

(Taulukko 4). Kahdestatoista kuukaudesta kahdeksana saaliiksi tuli eniten särkeä. Elo- ja syyskuussa runsain laji oli ahven, helmikuussa kiiski ja maaliskuussa kuha. Kiiski oli särjen jälkeen toiseksi runsain laji tammi- ja huhtikuussa. Salakan määrä oli kesällä hyvin korkea, mutta talvella ja keväällä sitä ei saatu lainkaan.

Taulukko 4. Lajikohtaiset kappalemäärät eri kuukausina ja koko vuonna.

Laji kpl	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Yht.
Särki	100	16	42	378	306	432	313	341	329	255	402	373	3287
Salakka	-	-	-	-	-	93	210	115	16	6	2	4	446
Sorva	-	-	-	1	5	1	-	2	3	1	-	1	14
Lahna	1	3	5	5	9	10	8	4	7	14	-	-	66
Ahven	15	19	27	19	51	68	221	414	339	154	109	39	1475
Kiiski	35	51	48	21	42	25	20	45	47	37	28	25	424
Kuha	12	35	63	11	20	30	68	110	56	28	15	8	456
Siika	1	2	-	1	1	2	1	1	2	2	1	3	17
Muikku	1	-	-	-	1	2	11	7	9	3	2	2	38
Hauki	5	2	2	3	5	1	-	-	2	3	-	3	26
Made	6	7	2	5	4	-	2	5	7	3	3	4	48
Kuore	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	2
Yht.	176	135	189	445	445	664	854	1044	817	506	562	462	6299

Biomassana Pääjärven runsain laji oli myös särki (n. 281 kg) ja toiseksi runsain kuha (n. 126 kg). Ahvensaaliin biomassassa oli pieni verrattuna ahventen määrään. Särki oli biomassaltaan runsain laji kymmenenä kuukautena ja kuha kahtena (Taulukko 5).

Taulukko 5. Eri lajien biomassat grammoina eri kuukausina ja koko vuonna.

Laji g	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Yht.
Särki	6985	2163	5624	38382	28756	37997	29729	27133	28329	25432	29506	20939	280975
Salakka	-	-	-	-	-	2108	4680	2429	341	87	76	33	9754
Sorva	-	-	-	94	817	221	-	352	569	330	-	332	2715
Lahna	267	63	1962	1655	2872	2710	2879	1582	1879	1464	-	-	17333
Ahven	1247	1669	1999	1611	4856	6700	15458	17789	11987	5610	3643	1970	74539
Kiiski	221	329	348	171	404	235	189	458	320	304	191	210	3380
Kuha	5567	15653	32019	3876	7951	8376	14020	16922	7421	5824	5131	2761	125521
Siika	55	628	-	195	175	424	630	51	445	875	277	301	4056
Muikku	28	-	-	-	10	26	162	153	218	61	26	14	698
Hauki	3350	1750	1620	2085	4140	781	-	-	1434	2175	-	4263	21598
Made	1780	2933	845	2196	944	-	480	1815	2269	658	587	1335	15842
Kuore	-	-	-	19	28	-	-	-	-	-	-	-	47
Yht.	19500	25188	44417	50284	50953	59578	68227	68684	55212	42820	39437	32158	556458

Prosenttiosuuksina särjen kappalemääräinen osuus vuoden kokonaissaaliista oli 52,2 % ja toiseksi runsaimman ahvenen 23,4 %. Kiisken, kuhan ja mateen osuus saaliista kasvoi huomattavasti talvella (Taulukko 6). Karppikaloja oli vuoden aikana kokonaissaaliista eniten (60,5%), mutta helmi-, maaliskuu-, elo- ja syyskuussa ahvenkalojen osuus saaliista oli suurin. Näinä kuukausina jokainen ahvenkalalaji oli vuorollaan kuukauden runsain laji. Lämpimänveden kaloja saatiin saaliiksi eniten kolmesta lämpötilaluokasta koko vuonna (67,8 %). Helmikuu oli ainoa kuukausi, jolloin viileänveden kaloja saatiin enemmän (53,3 %). Kylmänveden kalojen osuus saaliista nousi talvella, mutta oli silti pieni verrattuna muihin lämpötilakiltoihin. Eniten lämpimänveden kaloja tuli kuukausista huhtikuussa, viileänveden kaloja helmikuussa ja kylmänveden kaloja myös helmikuussa.

Taulukko 6. Eri kalalajien kappalemääräiset osuudet kokonaissaaliista kuukausittain ja koko vuonna. Taulukossa on lisäksi eri lahkojen ja lämpötilakiltojen prosenttiosuudet.

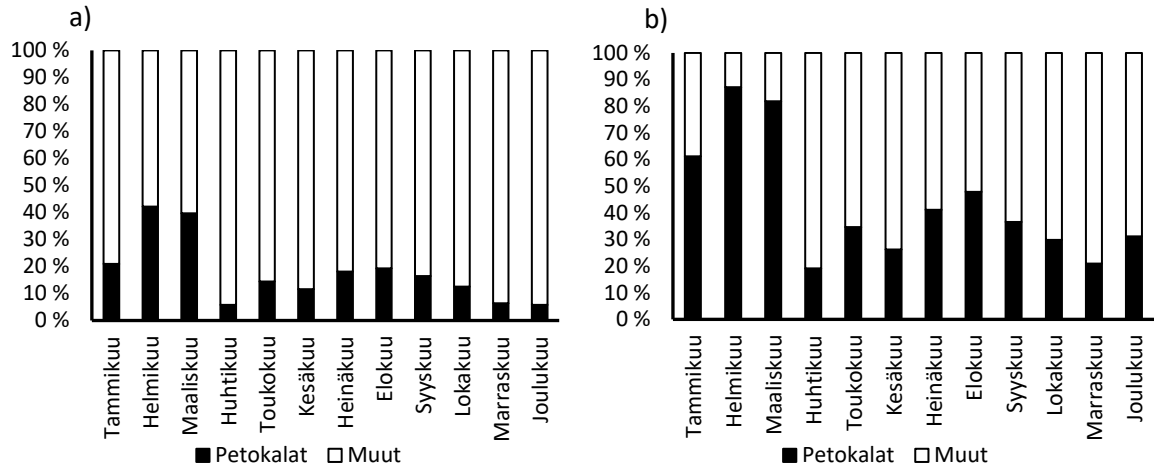
Laji kpl (%)	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Yht.
Särki	56,8	11,8	22,2	85	68,8	65,1	36,7	32,7	40,3	50,4	71,5	80,7	52,18
Salakka	-	-	-	-	-	14	24,6	11	2	1,2	0,4	0,9	7,08
Sorva	-	-	-	0,2	1,1	0,2	-	0,2	0,4	0,2	-	0,2	0,22
Lahna	0,6	2,2	2,6	1,1	2	1,5	0,9	0,4	0,9	2,8	-	-	1,05
Ahven	8,5	14,1	14,3	4,3	11,5	10,2	25,9	39,6	41,5	30,4	19,4	8,4	23,42
Kiiski	19,9	37,8	25,4	4,7	9,5	3,7	2,3	4,3	5,7	7,3	5	5,4	6,73
Kuha	6,8	25,9	33,3	2,5	4,5	4,5	8	10,5	6,8	5,5	2,6	1,7	7,24
Siika	0,6	1,5	-	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,4	0,2	0,7	0,27
Muikku	0,6	-	-	-	0,2	0,3	1,3	0,7	1,1	0,6	0,4	0,4	0,61
Hauki	2,8	1,5	1,1	0,7	1,1	0,2	-	-	0,2	0,6	-	0,7	0,41
Made	3,4	5,2	1,1	1,1	0,9	-	0,2	0,5	0,9	0,6	0,5	0,9	0,76
Kuore	-	-	-	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-	0,03
Karppikalat	57,4	14	24,8	86,3	71,9	80,8	62,2	44,3	43,6	54,6	71,9	81,8	60,5
Ahvenkalat	35,2	77,8	73	11,5	25,5	18,4	36,2	54,4	54	43,2	27	15,5	37,4
Lohikalat	1,2	1,5	0	0,2	0,4	0,6	1,4	0,8	1,3	1	0,6	1,1	0,9
Muut	6,2	6,7	2,2	2	2,2	0,2	0,2	0,5	1,1	1,2	0,5	1,6	1,2
Lämpimänveden kalat	64,2	40	58,2	88,7	76,4	85,2	70,2	54,8	50,3	60,1	74,5	83,6	67,8
Viileänveden kalat	31,3	53,3	40,7	9,7	22	14,2	28,2	44	47,5	38,3	24,4	14,5	30,5
Kylmänveden kalat	4,5	6,7	1,1	1,6	1,6	0,6	1,6	1,2	2,2	1,6	1,1	1,9	1,7

Särjen biomassaprosenttiosuus vuoden saaliista oli 50,5 % ja biomassaltaan toiseksi runsaimman kuhan 22,6 %. Kookkaiden kalojen, lahnan, kuhan, hauen ja mateen, biomassaprosenttiosuudet vuoden kokonaissaaliista olivat jonkin verran suuremmat kuin kappaleosuudet. Vaikka ahvenen kappaleosuus saaliista oli elo- ja syyskuun suurin, biomassana särjen osuus näinä kuukausina oli selvästi suurin (Taulukko 7). Karppikaloja oli kappalemääräisen osuuden tavoin biomassana eniten kaikista lahkoista (55,8 %). Helmi- ja maaliskuussa ahvenkalojen biomassaosuus oli huomattavasti suurin. Biomassaosuuksina lämpimänveden kaloja tuli saaliiksi eniten jokaisena kuukautena ja koko vuonna (78,4 %). Eniten lämpimänveden kaloja oli biomassana maaliskuussa, viileänveden kaloja elokuussa ja kylmänveden kaloja helmikuussa.

Taulukko 7. Eri kalalajien, lahkojen ja lämpötilakiltojen biomassaosuudet kokonaissaaliista kuukausittain ja koko vuonna.

Laji g (%)	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Yht.
Särki	35,82	8,59	12,66	76,33	56,44	63,78	43,57	39,51	51,31	59,39	74,82	65,12	50,49
Salakka	-	-	-	-	-	3,54	6,86	3,54	0,62	0,21	0,19	0,1	1,75
Sorva	-	-	-	0,18	1,6	0,37	-	0,51	1,03	0,77	-	1,03	0,49
Lahna	1,37	0,25	4,42	3,29	5,64	4,55	4,22	2,3	3,4	3,42	-	-	3,11
Ahven	6,4	6,63	4,5	3,2	9,53	11,25	22,66	25,9	21,71	13,1	9,24	6,13	13,4
Kiiski	1,13	1,31	0,78	0,34	0,79	0,39	0,28	0,67	0,58	0,71	0,48	0,65	0,61
Kuha	28,55	62,14	72,09	7,71	15,6	14,06	20,55	24,64	13,44	13,6	13,01	8,59	22,56
Siika	0,28	2,49	-	0,39	0,34	0,71	0,92	0,07	0,81	2,04	0,7	0,93	0,73
Muikku	0,14	-	-	-	0,02	0,04	0,24	0,22	0,39	0,14	0,07	0,04	0,12
Hauki	17,18	6,95	3,65	4,15	8,13	1,31	-	-	2,6	5,08	-	13,26	3,88
Made	9,13	11,64	1,9	4,37	1,85	-	0,7	2,64	4,11	1,54	1,49	4,15	2,85
Kuore	-	-	-	0,04	0,06	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Karppikalat	37,2	8,8	17,1	79,8	63,7	72,2	54,6	45,9	56,4	63,8	75	66,2	55,8
Ahvenkalat	36,1	70,1	77,4	11,3	25,9	25,7	43,5	51,2	35,7	27,4	22,7	15,4	36,6
Lohikalat	0,4	2,5	0	0,4	0,4	0,8	1,2	0,3	1,2	2,2	0,8	1	0,9
Muut	26,3	18,6	5,5	8,5	10	1,3	0,7	2,6	6,7	6,6	1,5	17,4	6,7
Lämpimänveden kalat	65,7	71	89,2	87,5	79,3	86,3	75,2	70,5	69,8	77,4	88	74,8	78,4
Viileänveden kalat	24,7	14,9	8,9	7,7	18,4	12,9	22,9	26,6	24,9	18,9	9,7	20,1	17,9
Kylmänveden kalat	9,6	14,1	1,9	4,8	2,3	0,8	1,9	2,9	5,3	3,7	2,3	5,1	3,7

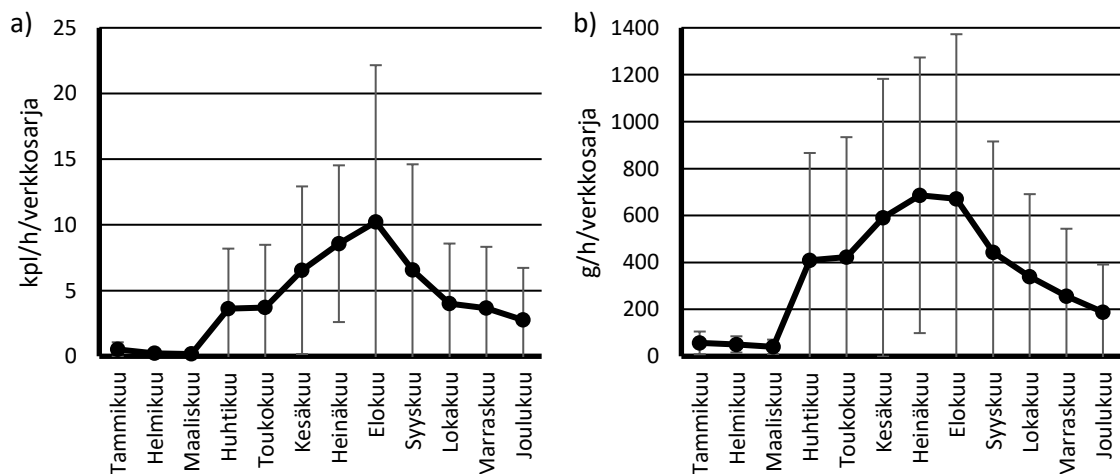
Petokalat olivat joka kuukausi vähemmistönä kokonaissaaliissa verrattuna muuta ravintoa käyttäviin kaloihin, mutta talvikuukausina petokaloja saatiin saaliiksi selvästi muita kuukausia enemmän (Kuva 3, a). Talvikuukausina petokaloja oli biomassaltaan enemmän kuin muita (Kuva 3, b).



Kuva 3. Petokalojen ja muuta ravintoa käyttävien kalojen suhteelliset osuudet kappalemäärinä (a) ja biomassana (b). Petokaloiksi lasketaan kuha, hauki, made ja yli 15cm pitkät ahvenet.

### 3.2 Tutkimuskysymys 2

Yksikkösaalis oli pienin talvikuukausina, ja kesää kohden saalis alkoi runsastua. Kesäkuukausina yksikkösaalis oli suurin. Kappaleyksikkösaalis oli suurin elokuussa, mutta biomassayksikkösaalis oli heinäkuussa elokuuta suurempi (Kuva 4).

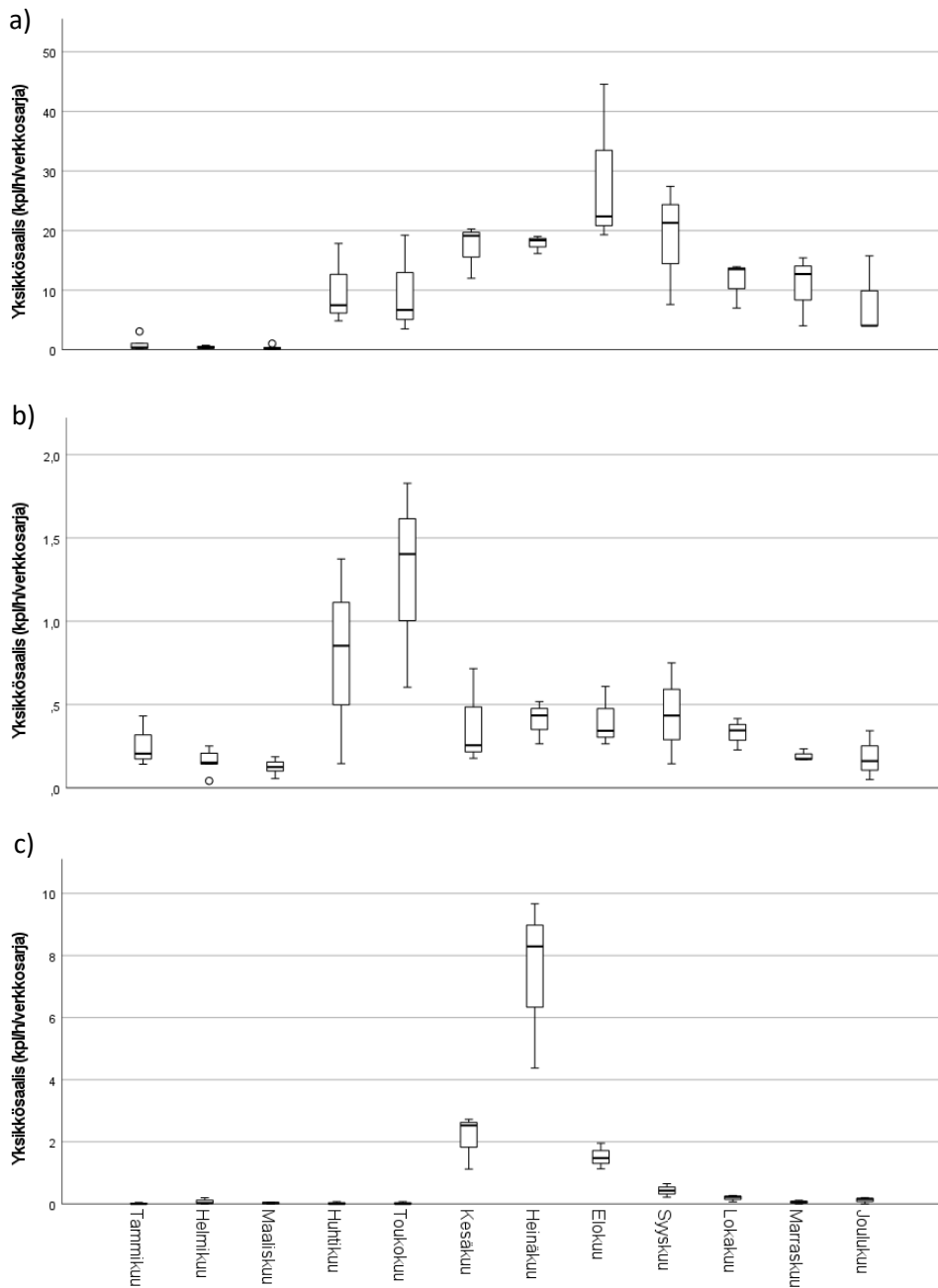


Kuva 4. Kappale- (a) ja biomassayksikkösaaliin (b) keskiarvot kuukausittain kaikissa habitaateissa yhteensä. Palkit jokaisen arvon ylä- ja alapuolella merkitsevät 95% luottamusväliä.

Kappaleyksikkösaalis noudatti litoraalisissa samaa kaavaa kuin yhteisyksikkösaalis, eli kesällä kalaa tuli eniten ja talvella vähiten (Kuva 5, a). Profundaalisissa sen sijaan suurin yksikkösaalis oli huhti-toukokuussa, eikä talvikuukausien ero muihin kuukausiin ole niin



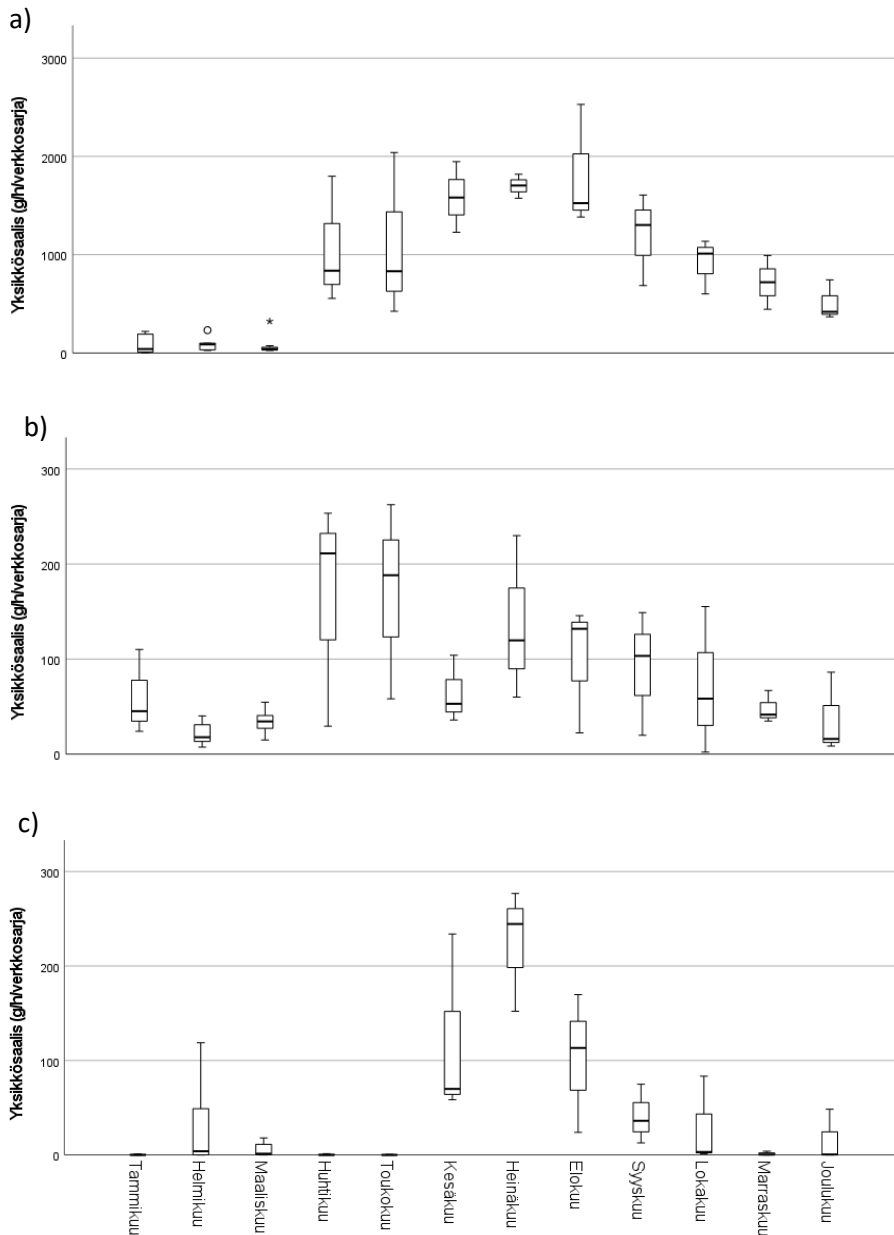
selkeä (Kuva 5, b). Pelagiaalissa ero kesän ja muiden kuukausien välillä on hyvinkin selkeä ja eniten kalaa tuli heinäkuussa (Kuva 5, c).



Kuva 5. Laatikko-janakuvaajat kappalemääräisestä yksikkösaaliista kuukausittain litoraalissa (a), profundaalis (b) ja pelagiaalissa (c). Laatikon sisällä on puolet arvoista, ja janat ylä- ja alapuolella merkitsevät ääriarvoja. Laatikon sisällä oleva horisontaaliviiva on mediaani. Poikkeavat arvot on merkitty palloilla.

Myös biomassayksikkösaalis oli litoraalissa suurin kesällä ja pienin talvella (Kuva 6, a). Profundaalissa suurin biomassayksikkösaalis oli kappaleyksikkösaaliin tavoin huhti-toukokuussa, eivätkä vuodenaikojen erot ole yhtä selviä kuin kahdessa muussa habitaatissa (Kuva 6, b). Pelagiaalissa suurin biomassayksikkösaalis oli heinäkuussa, mutta

kappaleyksikkösaaliista poiketen suuria biomassayksikkösaaliita oli myös loka-, joului- ja helmikuussa (Kuva 6, c).



Kuva 6. Laatikko-janakuvaajat biomassayksikkösaaliista kuukausittain litoraalisissa (a), profundaalisissa (b) ja pelagiaalisissa (c). Laatikon sisällä on puolet arvoista, ja janat ylä- ja alapuolella merkitsevät ääriarvoja. Laatikon sisällä oleva horisontaaliviiva on mediaani. Poikkeavat arvot on merkitty palloilla ja tähdillä, joista tähdet poikkeavat enemmistöarvoista enemmän.

Yksikkösaaliissa oli merkittävää vaihtelua vuoden aikana kaikissa habitaateissa yhteensä sekä kappalemääräisesti (ANOVA:  $F_{11,128} = 3,89$ ,  $p < 0,001$ ), että biomassayksikkösaaliina (ANOVA:  $F_{11,128} = 2,74$ ,  $p = 0,003$ ). Kappaleyksikkösaaliin kuukausien välisessä parittaisvertailussa eroja oli tammi- ja heinäkuun (Tukey:  $p = 0,024$ ), helmi- ja heinäkuun ( $p = 0,004$ ), helmi- ja elokuun ( $p = 0,039$ ), maalisi- ja kesäkuun ( $p = 0,032$ ), maalisi- ja

heinäkuun ( $p = 0,001$ ) ja maaliskuu- ja elokuun ( $p = 0,014$ ) välillä. Biomassayksikkösaaliin parittaisvertailussa eroja oli tammi- ja heinäkuun ( $p = 0,049$ ) ja maaliskuu- ja heinäkuun ( $p = 0,023$ ) välillä.

Habitaattikohtaisessa yksikkösaaliissa oli merkittävää eroa vuoden aikana kaikissa kolmessa habitaatissa (Litoraali: ANOVA:  $F_{11,44} = 25,58$ ,  $p < 0,001$ ; Profundaali: ANOVA:  $F_{11,41} = 4,96$ ,  $p < 0,001$ ; Pelagiaali: ANOVA:  $F_{11,41} = 62,29$ ,  $p < 0,001$ ). Litoraalin yksikkösaaliissa kahden kuukauden välisiä eroja oli talvikuukausien tammi-, helmi-, maaliskuun ja kaikkien muiden kuukausien välillä (tammikuu – huhti-marraskuu:  $p < 0,001$ ; tammikuu – joulukuu:  $p = 0,002$ ; helmikuu – huhti-joulukuu:  $p < 0,001$ ; maaliskuu – huhti-joulukuu:  $p < 0,001$ ). Profundaalissa kahden kuukauden välisiä eroja oli maaliskuu- ja huhtikuun ( $p = 0,025$ ) ja toukokuun ja tammi- ( $p = 0,006$ ), helmi- ( $p < 0,001$ ), maaliskuu- ( $p < 0,001$ ), kesä- ( $p = 0,032$ ), loka- ( $p = 0,019$ ), marras- ( $p = 0,002$ ) ja joulukuun ( $p = 0,002$ ) välillä. Pelagiaalissa eroja oli kesä-, heinä-, elokuun ja muiden kuukausien välillä (Taulukko 8).

Taulukko 8. Tukeyn testistä saadut p-arvot kuukausien välillä pelagiaalin kappalemääräisessä yksikkösaaliissa. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot ( $< 0,05$ ) on lihavoitu. Arvo 1 tarkoittaa täydellistä samankaltaisuutta ja nollaa lähestyvät arvot erilaisuutta.

	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu
Tammikuu	1	1	1	1	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,215	0,971	1	1
Helmikuu		1	1	1	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,288	0,997	1	1
Maaliskuu			1	1	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,095	0,944	1	0,999
Huhtikuu				1	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,244	0,98	1	1
Toukokuu					<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,246	0,981	1	1
Kesäkuu						<b>&lt;0,001</b>	0,883	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Heinäkuu							<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Elokuu								<b>0,002</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Syyskuu									0,922	0,379	0,669
Lokakuu										0,997	1
Marraskuu											1

Habitaattikohtaisessa biomassayksikkösaaliissa oli merkitsevää vaihtelua litoraalissa (ANOVA:  $F_{11,44} = 12,14$ ,  $p < 0,001$ ) ja pelagiaalissa (ANOVA:  $F_{11,41} = 5,95$ ,  $p < 0,001$ ), mutta ei profundaalissa (ANOVA:  $F_{11,41} = 1,84$ ,  $p = 0,091$ ). Litoraalissa biomassayksikkösaaliin erot olivat merkitseviä tammi-, helmi- ja maaliskuun ja melkein kaikkien muiden kuukausien välillä (Taulukko 9).

Taulukko 9. Tukeyn testistä saadut p-arvot kuukausien välillä litoraalin biomassayksikkösaaliissa. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot ( $<0,05$ ) on lihavoitu. Arvo 1 tarkoittaa täydellistä samankaltaisuutta ja nollaa lähestyvät arvot erilaisuutta.

	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu
Tammikuu	0,973	1	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>0,009</b>
Helmikuu		1	<b>0,015</b>	<b>0,018</b>	<b>0,002</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,007</b>	<b>0,019</b>	0,059	0,161
Maaliskuu			<b>0,002</b>	<b>0,003</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,003</b>	<b>0,009</b>	<b>0,036</b>
Huhtikuu				1	1	0,999	0,999	1	1	1	0,998
Toukokuu					1	0,999	0,998	1	1	1	0,999
Kesäkuu						1	1	1	1	0,99	0,893
Heinäkuu							1	1	0,999	0,979	0,843
Elokuu								1	0,998	0,973	0,823
Syyskuu									1	1	0,988
Lokakuu										1	0,999
Marraskuu											1

Pelagiaalissa biomassayksikkösaaliissa oli eroja kesäkuukausien ja talvikuukausien välillä (Taulukko 10).

Taulukko 10. Tukeyn testistä saadut p-arvot pelagiaalin biomassayksikkösaaliissa kuukausien välillä. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot ( $<0,05$ ) on lihavoitu. Arvo 1 tarkoittaa täydellistä samankaltaisuutta ja nollaa lähestyvät arvot erilaisuutta.

	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu
Tammikuu	0,764	0,99	1	1	<b>0,017</b>	<b>0,003</b>	<b>0,028</b>	0,158	0,788	1	0,993
Helmikuu		0,997	0,775	0,715	0,328	0,068	0,469	0,935	1	0,936	1
Maaliskuu			0,991	0,982	<b>0,044</b>	<b>0,005</b>	0,08	0,429	0,996	1	1
Huhtikuu				1	<b>0,017</b>	<b>0,003</b>	<b>0,03</b>	0,163	0,797	1	0,994
Toukokuu					<b>0,014</b>	<b>0,002</b>	<b>0,024</b>	0,136	0,745	1	0,988
Kesäkuu						1	1	0,997	0,587	<b>0,039</b>	0,189
Heinäkuu							0,998	0,847	0,197	<b>0,007</b>	<b>0,04</b>
Elokuu								1	0,725	0,065	0,279
Syyskuu									0,988	0,301	0,743
Lokakuu										0,936	1
Marraskuu											1

### 3.3 Tutkimuskysymys 3

Pääjärven koekalastusverkkosarjan runsain solmuväli vuoden aikana oli 12 mm (1650 kalaa vuodessa) (Taulukko 11). Toiseksi eniten kalaa saatiin 20 mm solmuvälistä (1056 kappaletta).

Taulukko 11. Kalojen kappalemäärä eri solmuväleissä kuukausittain ja koko vuonna.

Solmuväli	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Yht.
N	24	14	28	41	47	70	92	106	137	65	74	34	732
12	62	47	43	15	33	98	253	466	268	126	142	97	1650
15	9	3	10	25	56	79	126	122	98	59	83	132	802
20	19	6	5	85	88	190	168	141	113	78	83	80	1056
25	12	21	20	151	106	151	122	111	100	80	98	55	1027
30	30	16	33	90	83	56	59	56	67	48	58	38	634
35	16	19	21	29	22	13	22	36	26	42	20	19	285
45	4	9	24	7	7	6	9	4	7	8	4	4	93
60	-	-	5	2	3	1	3	2	1	-	-	3	20
Yht.	176	135	189	445	445	664	854	1044	817	506	562	462	6299

Runsainta biomassaa pyytävä solmuväli oli eri kuukausina suurimmaksi osaksi 25 mm, mutta helmi- ja maaliskuussa runsaimmat solmuvälit olivat 35 mm ja 45 mm. Koko vuoden

aikana suurinta biomassaa pyytävä solmuväli oli 25 mm (n. 122 kg) ja toiseksi suurinta 30 mm (n. 112 kg) (Taulukko 12). Tämä ero kappalemääräiseen saaliiseen ei sinänsä ollut yllättävä, koska suuremmista solmuväleistä tulee suurempaa kalaa.

Taulukko 12. Kalojen biomassa grammoina eri solmuväleissä kuukausittain ja koko vuonna.

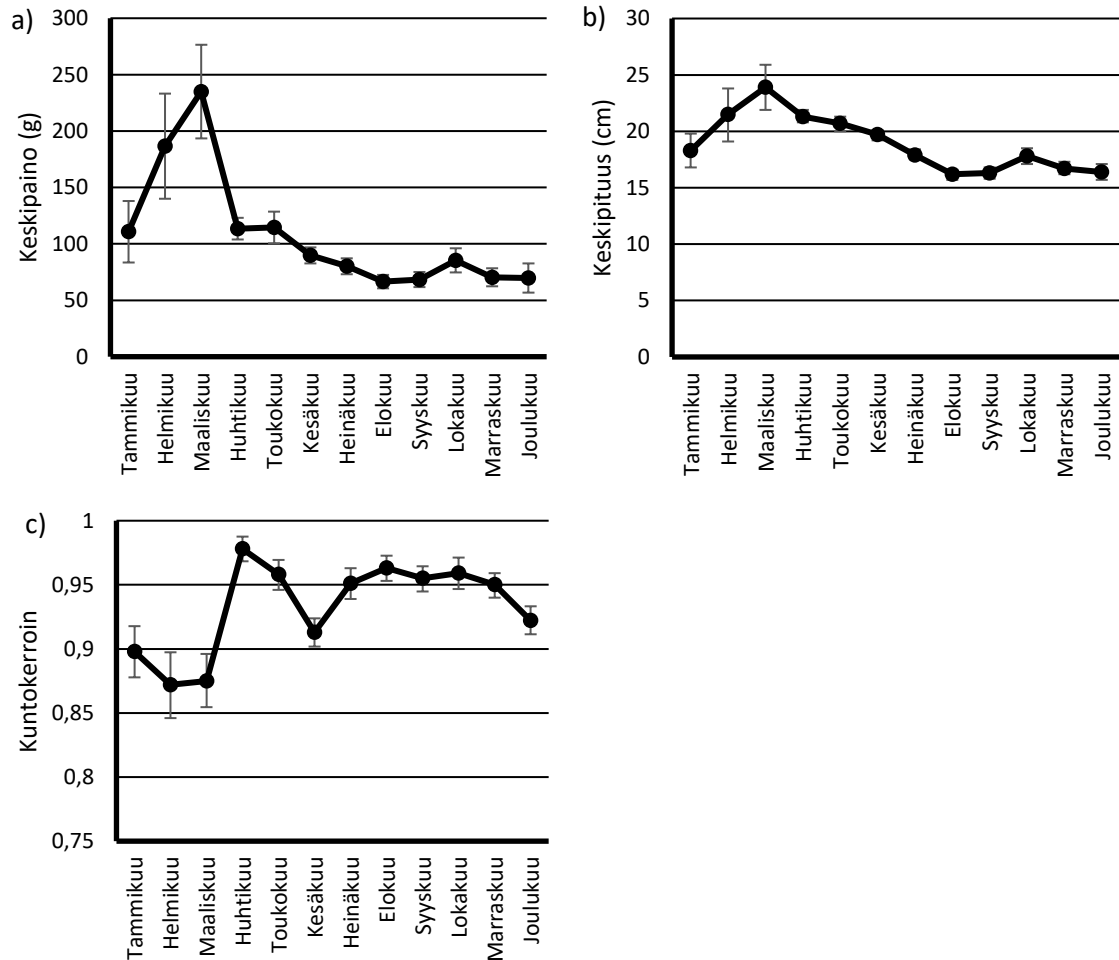
Solmuväli	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Yht.
N	641	631	1668	3737	4652	6917	3881	4618	3872	2178	3806	1184	37785
12	564	338	1430	121	785	1440	6002	6972	4684	2024	1714	934	27008
15	165	70	190	1376	1339	2325	4913	6354	3018	1728	2239	2435	26152
20	1723	283	1163	5976	6825	15573	14890	11215	8436	5269	4673	5735	81761
25	1357	2901	3425	15918	13153	16352	14610	13336	12395	11206	11456	5683	121792
30	7128	4939	7578	12266	11794	10267	11187	12546	11514	8081	9266	5861	112427
35	5328	9155	8917	6317	5395	3884	6138	10612	7412	9143	4569	3894	80764
45	2594	6873	16485	3720	5445	2305	4227	1500	3324	3192	1715	2168	53548
60	-	-	3559	852	1566	514	2379	1531	557	-	-	4263	15221
Yht.	19500	25190	44415	50283	50954	59577	68227	68684	55212	42821	39438	32157	556458

Monien kalalajien keskipainot ja keskipituudet olivat suurimpia talvikuukausina. Hyvin selvä muutos tähän suuntaan oli särjellä, ahvenella ja kuhalla (Taulukko 13). Kalojen keskimääräinen kuntokerroin oli suurempi kesällä kuin talvella. Kuntokertoimen keskimääräinen suuruus vaihtelee lajien välillä, mikä johtuu lajien erilaisesta ruumiinmuodosta.

Taulukko 13. Kaikkien kalalajien keskipainot, keskipituudet ja kuntokertoimet eri kuukausina.

Laji	Suure	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu
Särki	Keskipaino (g)	69,9	135,2	133,9	101,5	94	88	95	80,6	86,1	99,7	73,4	56,2
	Keskipituus (cm)	16,8	22,8	22,6	21,2	20,6	20,2	20,2	18,9	19,2	20,4	17,8	16,2
	Kuntokerroin	0,934	1,042	1,013	0,999	0,985	0,961	1,036	1,023	1,009	1,016	0,974	0,941
Salakka	Keskipaino (g)						22,8	22,4	21,1	21,4	14,6	37,9	8,2
	Keskipituus (cm)						14,9	14,3	14,1	13,9	12	17,3	10,3
	Kuntokerroin						0,667	0,742	0,738	0,725	0,684	0,697	0,575
Sorva	Keskipaino (g)				93,8	163,4	220,7		175,8	189,7	329,5		331,5
	Keskipituus (cm)				19,9	23,5	25,6		18,6	24,5	28,5		28,7
	Kuntokerroin				1,19	1,254	1,315		1,351	1,282	1,423		1,402
Lahna	Keskipaino (g)	266,7	21	392,4	331	319,2	271	359,9	395,6	268,5	104,5		
	Keskipituus (cm)	31,2	13,5	33,4	32,7	29,2	29,8	32,9	33,8	29	19,1		
	Kuntokerroin	0,878	0,849	0,88	0,914	0,9	0,913	0,955	0,968	0,894	0,905		
Ahven	Keskipaino (g)	83,2	87,9	74	89,5	95,2	98,5	70,2	43,7	35,8	37	33,9	50,5
	Keskipituus (cm)	18,7	17,9	13,6	16,7	19,4	19,1	15,3	12,8	12,5	13	12,4	14,1
	Kuntokerroin	0,975	0,965	0,911	0,97	0,987	1,029	1,108	1,049	0,975	0,958	0,928	0,921
Kiiski	Keskipaino (g)	6,3	6,5	7,2	8,2	9,6	9,4	9,4	10,2	6,7	8,5	6,8	8,4
	Keskipituus (cm)	8,7	8,8	9	9,4	10	9,8	9,4	10	8,7	9,4	8,9	9,6
	Kuntokerroin	0,905	0,922	0,919	0,895	0,905	0,915	0,971	0,953	0,918	0,925	0,886	0,895
Kuha	Keskipaino (g)	463,9	447,2	508,2	352,4	397,5	279,2	209,2	153,8	132,5	208	342,1	345,1
	Keskipituus (cm)	36,6	36	38,5	32,9	33,5	30,8	27,6	23,5	21,9	24,5	31,1	30,3
	Kuntokerroin	0,757	0,732	0,75	0,742	0,729	0,724	0,734	0,726	0,69	0,684	0,701	0,702
Siika	Keskipaino (g)	54,9	314,2		194,8	175,1	211,8	630,1	50,7	222,5	437,6	276,8	100,2
	Keskipituus (cm)	20,7	34,8		29,5	29,2	29,2	42	19,5	30	36,1	33	19
	Kuntokerroin	0,619	0,747		0,759	0,703	0,852	0,85	0,684	0,771	0,877	0,77	0,667
Muikku	Keskipaino (g)	27,9				10,4	12,8	14,7	21,9	24,2	20,4	13	7,2
	Keskipituus (cm)	17,2				11,8	12,3	12,4	14,7	15	14,6	12,4	11,1
	Kuntokerroin	0,548				0,633	0,69	0,696	0,677	0,705	0,659	0,638	0,534
Hauki	Keskipaino (g)	670	875,2	809,8	695	828	781,3			717	724,8		1421
	Keskipituus (cm)	46,5	50,5	52,1	48,5	50,8	52,2			50,3	51,8		62,9
	Kuntokerroin	0,651	0,659	0,572	0,603	0,587	0,549			0,563	0,499		0,569
Made	Keskipaino (g)	296,7	419	422,3	439,2	235,9		239,9	363	324,1	219,4	195,7	333,8
	Keskipituus (cm)	35,5	39,1	35,4	39,1	31,6		30,8	36,9	35,7	32	29,1	37
	Kuntokerroin	0,651	0,669	0,677	0,666	0,661		0,783	0,693	0,669	0,572	0,706	0,657
Kuore	Keskipaino (g)				19,3	27,9							
	Keskipituus (cm)				15,2	16,8							
	Kuntokerroin				0,55	0,588							

Kaikkien kalojen yhteinen keskipaino ja keskipituus olivat suurimpia talvella tammi-maaliskuussa. Maaliskuussa kalat olivat kookkaimpia (Kuva 7, a,b). Kuntokerroin oli korkeimmillaan keväällä ja kesällä ja matalimmallaan talvella. Poikkeus oli kesäkuu, jolloin kuntokerroin oli matala (Kuva 7, c).



Kuva 7. Kaikkien kalojen keskipaino (a), keskipituus (b) ja kuntokerroin (c) kuukausittain. Palkit jokaisen arvon ylä- ja alapuolella merkitsevät 95% luottamusväliä.

Taulukosta 14 nähdään, että kalojen keskipaino ja keskipituus nousivat verkon solmuvälin suurentuessa, mikä oli odotettavissa. Alhaisin kuntokerroin oli kaloilla, jotka saatiin saaliiksi solmuvälistä 15 mm.

Taulukko 14. Eri solmuväleistä saatujen kalojen keskipaino, -pituus ja kuntokerroin kuukausittain.

Solmuväli	Suure	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu
N	Keskipaino (g)	26,7	45,1	59,6	91,1	99	98,8	42,2	45,1	28,3	34,9	52,7	34,8
	Keskipituus (cm)	11,9	11,2	12,4	19,2	20,5	19	13,2	11,7	10,8	12,5	12,6	12,7
	Kuntokerroin	0,9	0,844	0,824	0,919	0,938	0,918	0,995	1,014	0,936	0,917	0,909	0,828
12	Keskipaino (g)	9,1	7,2	33,3	8,1	23,8	14,7	23,7	15,1	17,9	16,2	12,1	9,6
	Keskipituus (cm)	10,2	9,3	10,5	9,7	11,1	12,4	13,1	11,6	11,5	11,1	11	10,4
	Kuntokerroin	0,858	0,902	0,896	0,854	0,9	0,773	0,841	0,917	0,904	0,893	0,868	0,857
15	Keskipaino (g)	18,3	23,3	19	55	23,9	29,4	39,6	52,1	30,9	29,3	27	18,5
	Keskipituus (cm)	13,1	14,1	13,2	14,4	13,7	15,2	15,8	16,8	15	14,7	13,9	12,7
	Kuntokerroin	0,816	0,827	0,842	0,868	0,86	0,82	0,871	0,883	0,869	0,867	0,893	0,884
20	Keskipaino (g)	90,7	47,2	232,7	70,3	77,6	82	88,6	79,5	74,7	67,6	56,3	71,7
	Keskipituus (cm)	20	17,3	27,9	19,2	19,2	21,1	20,4	19,5	19,2	18,8	17,9	18,6
	Kuntokerroin	0,915	0,827	0,735	0,97	0,943	0,952	1,01	1,035	1,004	0,981	0,957	0,96
25	Keskipaino (g)	113,1	138,2	171,3	105,4	124,1	108,3	119,8	120,1	123,9	140,1	116,9	103,3
	Keskipituus (cm)	22,8	24,3	24,3	21,7	22,5	22,2	22,2	22,4	22,5	22,8	22,1	21,6
	Kuntokerroin	0,949	0,939	0,946	0,999	0,972	0,972	1,075	1,038	1,055	1,013	1,032	1,01
30	Keskipaino (g)	237,6	308,7	229,6	137,8	142,1	183,3	189,6	224	171,8	168,4	159,8	154,2
	Keskipituus (cm)	28,7	33	28,6	23,8	23,7	26,5	26	28,1	25,2	25,1	24,5	23,4
	Kuntokerroin	0,937	0,799	0,931	1,013	1,047	0,97	1,051	0,99	1,062	1,054	1,054	1,058
35	Keskipaino (g)	333	481,8	424,6	217,8	245,2	298,8	279	294,8	285,1	217,7	228,4	205
	Keskipituus (cm)	31,3	38,1	35,6	27,2	27,8	31,3	29,7	30,1	30,5	26,9	27	26,9
	Kuntokerroin	0,989	0,827	0,873	1,059	1,066	0,974	1,076	1,095	1,023	1,082	1,111	1,046
45	Keskipaino (g)	648,6	763,7	686,9	531,5	777,8	384,2	469,7	375,1	474,8	398,9	428,9	542
	Keskipituus (cm)	42,8	44,4	43,8	40,1	47,5	34,5	32,9	32,2	37,5	33,9	32,4	38,2
	Kuntokerroin	0,789	0,87	0,81	0,835	0,712	0,914	0,908	1,176	0,871	1,009	1,244	0,984
60	Keskipaino (g)			711,8	425,8	521,9	514,4	793	765,3	556,8			1421
	Keskipituus (cm)			43,2	35,4	37,5	38,1	43	43,7	39,8			62,9
	Kuntokerroin			0,86	0,956	0,976	0,93	0,973	0,939	0,883			0,569

Vuoden aikana saatujen kalojen keskipituus vaihteli merkitsevästi vuoden aikana (ANOVA:  $F_{11,6259} = 42,17$ ,  $p < 0,001$ ). Talvi- ja kevätkausia saatujen kalojen pituus oli merkitsevästi suurempi kuin kesällä saatujen kalojen. Poikkeus oli tammikuu, jolloin tuli pienempää kalaa kuin helmi-toukokuussa (Taulukko 15). Pienintä kalaa tuli elo-syyskuussa.

Taulukko 15. Tukeyn testistä saadut p-arvot kalojen keskipituuksissa kuukausien välillä. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot ( $<0,05$ ) on lihavoitu. Arvo 1 tarkoittaa täydellistä samankaltaisuutta ja nollaa lähestyvät arvot erilaisuutta.

	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu
Tammikuu	<b>0,012</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,02</b>	0,601	1	<b>0,027</b>	<b>0,048</b>	1	0,385	0,152
Helmikuu		0,153	1	0,995	0,296	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Maaliskuu			<b>0,005</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Huhtikuu				0,979	<b>0,015</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Toukokuu					0,539	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Kesäkuu						<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Heinäkuu							<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	1	0,134	<b>0,023</b>
Elokuu								1	<b>0,004</b>	0,967	1
Syyskuu									<b>0,014</b>	0,992	1
Lokakuu										0,447	0,136
Marraskuu											1

Vuoden aikana saatujen kalojen keskipaino vaihteli merkitsevästi vuoden aikana (ANOVA:  $F_{11,6259} = 40,99$ ,  $p < 0,001$ ). Kuten keskipituudessa, myös kalojen keskipainossa oli talvi- ja kevätkausia merkitsevää eroa kesän kanssa. Helmi- ja maaliskuu erosivat merkitsevästi kaikista muista kuukausista, koska silloin saaliiksi tuli suuria kaloja (Taulukko 16).

Taulukko 16. Tukeyn testistä saadut p-arvot kalojen keskipainoissa kuukausien välillä. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot ( $<0,05$ ) on lihavoitu. Arvo 1 tarkoittaa täydellistä samankaltaisuutta ja nollaa lähestyvät arvot erilaisuutta.

	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu
Tammikuu	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	1	1	0,729	0,135	<b>0,001</b>	<b>0,003</b>	0,489	<b>0,012</b>	<b>0,014</b>
Helmikuu		<b>0,034</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Maaliskuu			<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Huhtikuu				1	0,098	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,034</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Toukokuu					0,067	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,022</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Kesäkuu						0,948	<b>0,012</b>	0,057	1	0,241	0,271
Heinäkuu							0,466	0,766	1	0,961	0,959
Elokuu								1	0,212	1	1
Syyskuu									0,433	1	1
Lokakuu										0,744	0,749
Marraskuu											1

Kalojen keskimääräisessä kuntokertoimessa oli merkitsevää eroa kuukausien välillä (ANOVA:  $F_{11,6259} = 17,82$ ,  $p < 0,001$ ). Talvi-kuukausina kuntokerroin oli merkittävästi alhaisempi kuin kesäkuukausina. Poikkeus oli kesäkuu, jolloin keskimääräinen kuntokerroin oli alhainen ja siten kesäkuulla ei ollut merkitsevää eroa talvi- vaan kesäkuukausien kanssa (Taulukko 17).

Taulukko 17. Keskimääräisen kuntokertoimen Tukeyn testin p-arvot kuukausien välillä. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot ( $<0,05$ ) on lihavoitu. Arvo 1 tarkoittaa täydellistä samankaltaisuutta ja nollaa lähestyvät arvot erilaisuutta.

	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu
Tammikuu	0,915	0,944	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,986	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,002</b>	0,742
Helmikuu		1	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	1	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,017</b>
Maaliskuu			<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,069	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,009</b>
Huhtikuu				0,624	<b>&lt;0,001</b>	0,06	0,792	0,205	0,676	0,08	<b>&lt;0,001</b>
Toukokuu					<b>&lt;0,001</b>	1	1	1	1	0,999	<b>0,012</b>
Kesäkuu						<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,995
Heinäkuu							0,823	1	0,998	1	<b>0,029</b>
Elokuu								0,987	1	0,834	<b>&lt;0,001</b>
Syyskuu									1	1	<b>0,007</b>
Lokakuu										0,996	<b>0,005</b>
Marraskuu											0,107

### 3.4 Tutkimuskysymys 4

Yksikkösaalista selittävistä muuttujista sekä kappale- että biomassayksikkösaaliin kanssa positiivisesti korreloivat veden lämpötila, valonmäärä, kuntokerroin, fosforipitoisuus, klorofylli-a ja pH. Negatiivisesti korreloivat puolestaan happipitoisuus, hiilipitoisuus, typpipitoisuus, vedenväri, jäänpaksuus, lumensyvyys, keskipaino ja keskipituus. Korrelaatioista tilastollisesti merkitseviä ovat muut paitsi fosforipitoisuus molempien yksikkösaaliiden kanssa ja typpipitoisuus kappaleyksikkösaaliin kanssa (Taulukko 18).



Taulukko 18. Pearson korrelaatiokertoimet kappale- ja biomassayksikkösaaliin ja kaikkien selittävien muuttujien välillä, sekä niiden p-arvot. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu. Kok-C=kokonaishiili, kok-P=kokonaissfosfori, kok-N=kokonaistyyppi, klor-a=klorofylli-a.

		Lämpötila	Happi	Valo	Kuntokerroin	kok-C	kok-P	kok-N	klor-a	Väri	pH	Jäänpaksuus	Lumensyvyys	Keskipaino	Keskipituus
log kpl/h	korrelaatiokerroin	0,576	-0,455	0,439	0,594	-0,300	0,113	-0,088	0,443	-0,280	0,328	-0,425	-0,447	-0,408	-0,328
	p-arvo	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,101	0,161	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
log g/h	korrelaatiokerroin	0,459	-0,416	0,277	0,602	-0,237	0,071	-0,166	0,412	-0,244	0,326	-0,310	-0,334	-0,303	-0,245
	p-arvo	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,003</b>	0,212	<b>0,030</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,003</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,003</b>

Jotkin usean selittävän muuttujan regressioanalyysin selittävistä muuttujista korreloivat keskenään merkitsevästi joko positiivisesti tai negatiivisesti (Taulukko 19).

Taulukko 19. Selittäjien väliset Pearson korrelaatiokertoimet ja p-arvot. Korrelaatiokertoimet ovat harmaalla pohjalla ja p-arvot valkoisella. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu. Kok-C=kokonaishiili, kok-P=kokonaissfosfori, kok-N=kokonaistyyppi, klor-a=klorofylli-a.

	Lämpötila	Happi	Valo	Kuntokerroin	kok-C	kok-P	kok-N	klor-a	Väri	pH	Jäänpaksuus	Lumensyvyys	Keskipaino	Keskipituus
Lämpötila	1	-0,917	0,584	0,044	-0,616	-0,057	-0,476	0,884	-0,682	0,817	-0,641	-0,68	-0,663	-0,602
Happi	0	1	-0,343	0,037	0,788	0,226	0,51	-0,814	0,835	-0,768	0,685	0,721	0,736	0,725
Valo	0	0	1	0,09	0,067	0,293	-0,076	0,525	-0,023	0,362	-0,286	-0,307	-0,236	-0,06
Kuntokerroin	0,319	0,344	0,166	1	0,048	0,079	-0,013	0,008	0,062	0,012	0,068	0,076	0,079	0,089
kok-C	0	0	0,236	0,303	1	0,429	0,321	-0,401	0,945	-0,49	0,623	0,64	0,691	0,768
kok-P	0,269	<b>0,007</b>	<b>0,001</b>	0,197	0	1	0,513	0,104	0,592	-0,11	-0,213	-0,18	-0,048	0,236
kok-N	0	0	0,206	0,442	0	0	1	-0,457	0,528	-0,684	-0,216	-0,158	-0,103	0,069
klor-a	0	0	0	0,464	0	0,131	0	1	-0,487	0,848	-0,571	-0,619	-0,556	-0,433
Väri	0	0	0,402	0,253	0	0	0	0	1	-0,602	0,505	0,544	0,596	0,702
pH	0	0	0	0,448	0	0,119	0	0	0	1	-0,364	-0,388	-0,43	-0,452
Jäänpaksuus	0	0	<b>0,001</b>	0,231	0	<b>0,01</b>	<b>0,009</b>	0	0	0	1	0,981	0,972	0,829
Lumensyvyys	0	0	0	0,208	0	<b>0,026</b>	<b>0,044</b>	0	0	0	0	1	0,938	0,781
Keskipaino	0	0	<b>0,005</b>	0,197	0	0,303	0,134	0	0	0	0	0	1	0,933
Keskipituus	0	0	0,258	0,17	0	<b>0,005</b>	0,23	0	0	0	0	0	0	1

Sekä kappale- että biomassayksikkösaaliin regressiomallissa selittäviksi muuttujiksi jäi neljä muuttujaa, mutta eri yksikkösaaliilla oli eri selittäjät (Taulukko 20). Kappaleyksikkösaalista selittävät muuttujat olivat kuntokerroin, lämpötila, kokonaistyyppi ja pH, jotka selittivät yhdessä 71,6% yksikkösaaliin vaihtelusta. Biomassayksikkösaalista selittävät muuttujat olivat kuntokerroin, lumensyvyys, lämpötila ja kokonaishiili, jotka selittivät yhdessä 58,4% yksikkösaaliin vaihtelusta.

Taulukko 20. Usean selittävän muuttujan regressioanalyysi kappale- ja biomassayksikkösaaliista ja niiden arvot. Analyysissä käytettiin askeltavaa lähestymistapaa. Valitut lopulliset mallit ovat lihavoituna.

Malli	Selitysaste	F-arvon muutos	Vapausaste	p-arvo
log (kpl/h)				
K	0,347	63,238	116	<b>&lt;0,001</b>
K+LT	0,633	91,489	115	<b>&lt;0,001</b>
K+LT+kok-N	0,701	27,196	114	<b>&lt;0,001</b>
<b>K+LT+kok-N+pH</b>	<b>0,716</b>	<b>6,729</b>	<b>113</b>	<b>0,011</b>
log (g/h)				
K	0,357	66,001	116	<b>&lt;0,001</b>
K+lumi	0,55	50,772	115	<b>&lt;0,001</b>
K+lumi+LT	0,569	6,161	114	0,015
<b>K+lumi+LT+kok-C</b>	<b>0,584</b>	<b>4,92</b>	<b>113</b>	<b>0,029</b>

Kappaleyksikkösaalista selittävistä muuttujista lämpötila oli tärkein yksikkösaalista selittävä tekijä ja typpipitoisuudella oli vähiten merkitystä. Biomassayksikkösaalista selittävistä muuttujista kuntokerroin oli tärkein yksikkösaalista selittävä tekijä ja kokonaishiilellä oli vähiten merkitystä (Taulukko 21).

Taulukko 21. Kappale- ja biomassayksikkösaalista selittävien muuttujien regressiokertoimet.

Kerroin log (kpl/h)		Kerroin log (g/h)	
Kuntokerroin	0,563	Kuntokerroin	0,610
Lämpötila	0,852	Lumensyvyys	-0,374
kok-N	0,195	Lämpötila	0,269
pH	-0,273	kok-C	0,182

## 4 Tulosten tarkastelu

### 4.1 Päätulokset

Koekalastuksen tuloksien mukaan Pääjärven valtalaji oli särki ja toiseksi runsain laji ahven. Runsain laho oli karppikalat ja petokaloja oli vähemmän verrattuna muuta ravintoa syöviin kaloihin. Kalansaaliiltaan runsain vuodenaika oli kesä ja vähiten kalaa tuli vastaavasti talvella. Eniten saalista saatiin litoraalista jokaisena vuodenaikana ja toiseksi eniten saalista vuoden aikana tuli pelagiaalista, mutta hyvin epätasaisesti. Profundaalista tuli vuoden aikana tasaisesti melko vähän kalaa. Saadut kalat olivat kookkaimpia talvella ja pienempiä kesällä. Kalojen keskimääräinen kuntokerroin oli kesällä korkeampi kuin talvella. Yksikkösaaliin muutoksia eniten selittävät tekijät olivat kuntokerroin ja lämpötila. Muita selittäviä tekijöitä olivat lumensyvyys, typpipitoisuus, pH ja kokonaishiili.

### 4.2 Hypoteesi 1: Kalaosuudet

Koekalastusta tehtiin 129 verkkovuorokautta, ja sen perusteella Pääjärven runsaimmat lajit olivat särki ja ahven, jotka ovat olleet runsaimmat myös aikaisemmissa Pääjärven kalastotutkimuksissa (Viljanen, 1972; Sairanen, 2006; Ruuhijärvi ym., 2014). Sairanen (2006) tutkimuksessa koekalastusta tehtiin vuoden 2004 loppukesällä 93 verkkovuorokautta ja ahven oli tutkimuksen runsain laji. Tämä voi johtua koekalastuksen ajankohdasta, siitä että koekalastusta tehtiin myös Pääjärven itäpäässä, tai erilaisista koekalastusverkoista. Sairanen (2006) käytti tutkimuksessaan ainoastaan NORDIC-verkkoa, joka pyytää ahventa hyvin. Viljanen (1972) tutkimuksessa koekalastettiin vuosina 1970-1971 koko

avovesikautena kevästä syksyyn monella eri alueella ympäri järveä. Verkotuskertoja tutkimuksessa oli yhteensä 70 ja pyyntiverkkona käytettiin verkkosarjaa, jossa oli seuraavat solmuvälit (mm): 12, 15, 17, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60 ja 70 riimu. Tutkimuksessa särki oli kokonaissaaliin valtalaji. Kuha on selvästi runsastunut Pääjärvässä 1970-luvulta tähän päivään, koska Viljanen (1972) tutkimuksessa kuhan osuus kokonaissaaliista oli hyvin pieni. Vaikuttaa siis siltä, että kuhan istutus Pääjärveen on tuottanut tulosta ja kuha voi järvässä hyvin.

Pääjärvellä 1980-luvulla järjestettyjen Helsingin yliopiston kenttäkurssien koekalastuksissa valtalaji oli suurimmaksi osaksi ahven, vuoden 1987 kurssilla kuitenkin särki (Ahvonen ym., 1983; Hökkä ym., 1985; Rahikainen ja Räike, 1987; Lempinen ym., 1988). Näillä kursseilla käytettiin VEKARY-verkkosarjaa ja kurssit pidettiin elokuussa. Verkot olivat pyynnissä vain 1-2 päivää, mikä vaikuttaa saaliin jakaumaan, koska sattumalla on suuri merkitys sillä hetkellä verkon kohdalla liikkuviin lajeihin. Tämän pro gradu -tutkimuksen tutkimusjakson elokuussa ahven oli myös runsain laji, vaikka koko vuoden saaliissa särki olikin runsaampi. Voi siis olettaa, että kurssien tulos ahvenvaltaisuudesta olisi muuttunut, jos kalastusta olisi tehty useampina kuukausina. Turun yliopiston kalabiologian kurssilla lokakuussa vuonna 1990 yhtenä päivänä tehdyllä koekalastuksella runsain kalalaji oli salakka ja toiseksi runsaimmat särki sekä ahven. Kurssilla käytettiin litoraaliverkkojen lisäksi pintaverkkoa, mistä johtui salakan suuri määrä. Litoraaliverkon runsain laji oli särki ja toiseksi runsain ahven (Mikola ja Uotila, 1990). Kurssin koekalastus tehtiin sekä yleiskatsausverkoilla, että HAPRO-verkkosarjalla, eivätkä tulokset poikkea nykyisestä Pääjärven kalastosta muuten kuin kuhan puuttumisella. Tämä saattaa johtua vain sattumasta, koska kalastusta tehtiin vain yhtenä yönä. Neljän vuoden päästä syyskuussa vuonna 1994 Turun yliopiston samannimisellä kurssilla kalastusta tehtiin vain NORDIC-verkolla. Silloin koekalastuksen runsain laji oli särki ja toiseksi runsain ahven. NORDIC-verkko ei siis aina pyydä eniten ahventa. Vuonna 1994 saatiin saaliiksi myös kuhaa, mutta ei salakkaa, koska pintaverkkoa ei käytetty (Sarvala ym., 1994). Saaliiksi saatiin salakka poissulkien kaikkia muita tämänkin pro gradu -tutkimuksen yleisimpiä kaloja, jotka ovat odotettavissakin yhden verkkoyön saaliista. Vuonna 2000 Turun yliopiston Kalaekologian kenttäkurssilla saaliiksi saatiin eniten ahvenia. Koekalastuksessa käytettiin vain yleiskatsausverkkoja (NORDIC ja NIPPON), verkot olivat vedessä vain yhden yön, ja ajankohta oli syyskuu. Ahvenen jälkeen toiseksi runsain kala oli muikku, sitten särki (Viljanen, 2000). Ahvenen suuri määrä johtui luultavasti yleiskatsausverkkojen käytöstä ja muikun määrä puolestaan saattoi johtua siitä,

että salakka on tunnistettu virheellisesti muikuksi. Helsingin yliopiston kalantutkimuksen kursseilla vuosina 2004, 2006 ja 2008 käytettiin koekalastuksessa NORDIC- ja HAPRO-verkkoja, ja koekalastus tehtiin elokuussa. Vuonna 2004 runsain kala oli ahven, muina vuosina särki, ja kaikkien saatujen kalojen osuudet saaliista olivat samankaltaisia kuin vuoden 2020-2021 saaliin yleisimpien lajien osuudet (Karvinen ja Ojala, 2004; Lösonen ja Montin, 2006; Heiskanen ym., 2008). Vuonna 2008 saaliiksi saatiin kuitenkin yksi taimen (Heiskanen ym., 2008). Näiden kurssien yhdet pyyntikerrat vain yhtenä vuodenaikana eivät kuvaa kalayhteisön rakennetta vuoden ympäri, mutta kuitenkin melko hyvin kyseisten kuukausien tilannetta.

Vaikka särki ja ahven olivat tutkimusvuoden runsaimmat lajit, ne eivät olleet runsaimpia jokaisena kuukautena. Helmi- ja maaliskuussa runsaimmat lajit olivat kuha ja kiiski. Kuhan suhteellinen runsastuminen oli odotettavissa, koska suurena kalana sillä on talvella enemmän vararavintoa ja kyky saalistaa hämärässä toisin kuin pienemmillä kaloilla, jotka kärsivät ravinnon puutteesta (Shuter ym., 2012; McMeans ym., 2020). Kiiski on viileänveden laji ja tulee lämpimänveden lajeja paremmin toimeen talvella, mikä selittää sen suuren määrän talviaikaan. Kiisken lämpötilaoptimi on alhaisempi kuin toisella viileänveden lajilla ahvenella, minkä takia kiiski oli talvella runsaslukuisempi (Shuter ym., 2012). Kiiski myös näkee vähäisemmässä valossa kuin ahven, minkä ansiosta kiiski syö ja on aktiivinen myös talvella (Dukowska ym., 2013).

Kuha oli vuoden kolmanneksi runsain kala ja sitä tuli tasaisesti jokaisena kuukautena, kuitenkin eniten kesällä. Lämpimänveden kalana kuha onkin sopeutunut paremmin kesän kuin talven lämpötiloihin (Shuter ym., 2012). Koekalastuksen neljänneksi runsainta lajia salakkaa tuli paljon ottaen huomioon, että sitä tuli ylipäättään saaliiksi vain seitsemänä kuukautena. Salakka oli kuitenkin kesällä hyvin runsas kala ja suurin osa salakkasaaliista saatiin pelagiaalista. Salakka kutee kesäkuussa ja on lämpimänveden kala sekä planktivori, eli salakka on aktiivisimmillaan kesällä (Hayden ym., 2014; Hampton ym., 2017). Sorva ei ole Pääjärvässä kovin runsaslukuinen kala, mutta sitä saatiin saaliiksi muutamia yksilöitä. Yllättäen kylmänveden lohikaloja siikaa ja muikkua saatiin saaliiksi kesällä enemmän kuin talvella. Muikun ja siian ravintoa, eläinplanktonia, ei ole talvella saatavilla yhtä paljon kuin kesällä, joten muikku ja siika eivät välttämättä ole talvella yhtä aktiivisia (Nyberg ym., 2001; Hayden ym., 2014). Pelagisten kalojen uintinopeus hidastuu talvella (Jurvelius ja Marjomäki, 2004), mikä myös vaikuttaa niiden verkkoon jäämiseen talviaikaan ja selittää muikun ja siian vähäisen määrän talven saaliissa. Mateen osuus saaliista sen sijaan runsastui

talvella. Made onkin talvispesialisti, on silloin aktiivinen ja myös kutee talvella (McMeans ym., 2020). Kuore on Pääjärvässä runsas kala (Sairanen, 2006; Ruuhijärvi ym., 2014), mutta tässä koekalastuksessa sitä saatiin saaliiksi vain kaksi yksilöä. Kuore jää huonosti kiinni kalaverkkoon, mikä selittää sen puuttumisen (Olin, 2005).

Hypoteesin vastaisesti ahvenkalojen osuus elo-syyskuun saaliissa oli suurempi kuin karppikalojen. Elokuussa veden lämpötila oli lähimpänä ahvenen lämpötilaoptimia (Shuter ym., 2012), joten silloin ahvenet olivat hyvin aktiivisia, ja sen ansiosta ahvenkaloja tuli elokuussa enemmän. Syyskuussa lämpötila laski merkittävästi päällysvedessä, mutta lämpötila oli edelleen lähempänä ahvenen kuin särjen lämpötilaoptimia, joten ahvenia tuli enemmän. Karppikaloja puolestaan tuli hypoteesin vastaisesti ahvenkaloja enemmän joulutammikuussa. Tällöin lämpötila ei ollut lähellä ahventenkaan lämpötilaoptimia, joten ahventen osuus ei ollut suuri. Kuhienkaan osuus tammikuun saaliista ei ollut suuri vaan lähti nousuun vasta helmikuussa. Karppikalojen osuus koko vuoden kokonaissaaliissa oli suurin, koska särki oli niin ylivoimaisesti runsain kala Pääjärvässä. Kylmänveden kaloja saatiin saaliiksi vähiten jokaisena kuukautena, koska kylmänveden lajeja ei Pääjärvässä ole paljoa. Viileänveden kalojen osuus oli lämpimänveden kaloja suurempi vain helmikuussa, joten hypoteesi ei ollut täysin oikeassa.

Petokaloja tuli kappaleprosenttina muita kaloja vähemmän jokaisena kuukautena, mutta talvella kuitenkin petokalojen suhteellinen prosentti saaliista kasvoi. Suurina kaloina petokalat sietävät paremmin kylmää runsaamman vararavintonsa turvin ja pystyvät liikkumaan pieniä kaloja suuremmalla alueella (Cargnelli ja Gross, 1997; McMeans ym., 2016). Petokalojen täytyy myös liikkua aktiivisesti ruoan perässä talvellakin, jolloin ne jäävät verkkoihin. Biomassaprozenttina petokaloja tuli talvella muita kaloja enemmän suuremman biomassansa ansiosta. Vuoden aikana saaliiksi saadut ahvenet olivat melko pieniä, koska ahventen biomassaosuus ei ollut suuri yhtenäkkään kuukautena. Ero ahvenen kappale- ja biomassaosuuksissa oli merkittävin elo- ja syyskuussa, jolloin särjen paino-osuus oli ahventa suurempi. Kolmesta ahvenkalalajista vain kuha on kookkaaksi kasvava kala, minkä vuoksi ahvenkalojen biomassaprosentti oli suurin vain helmi-maaliskuussa, kun kuhien osuus oli suuri ja särkikalojen pieni. Kuha kuuluu lämpimänveden kaloihin, mikä selittää lämpimänveden kalojen suurimman biomassaprosentin jokaisena kuukautena, vaikka kappalemääränä helmikuussa viileänveden kaloja oli enemmän kiiskien ansiosta.

### 4.3 Hypoteesi 2: Yksikkösaaliin muutokset

Sekä kappale- että biomassayksikkösaalis oli suurin kesällä ja pienimmät yksikkösaaliit saatiin jään alta. Yksikkösaaliin muutos kesän ja talven välillä on normaali Suomen leveysasteilla, jossa olosuhteet muuttuvat merkittävästi vuodenaikojen välillä (Hayden ym., 2014; McMeans ym., 2020). Vaihtolämpöisten kalojen aineenvaihdunta hidastuu talvella lämpötilan laskiessa, mikä vaikuttaa niiden aktiivisuuteen ja siten verkon kohtaamisen todennäköisyyteen (Fernandes ja McMeans, 2019).

Jokaisessa habitaatissa oli kesällä suurempi kappale- ja biomassayksikkösaalis kuin talvella. Yksikkösaalis korreloi jossakin määrin ravinnon määrän kanssa, jota kesällä on enemmän kuin talvella varsinkin pelagiaalissa (Shuter ym., 2012; Hampton ym., 2017). Pelagiaalissa kalojen pääasiallisen ravinnonlähteen, eläinplanktonin, vuodenaikojen välisessä lukumäärässä, tiheydessä ja biomassassa on suuri ero, kuten pelagiaalin yksikkösaaliissakin (Nyberg ym., 2001; Hayden ym., 2014; Hampton ym., 2017). Suurin yksikkösaalis profundaalissa oli keväällä eikä kesällä, mikä voi johtua kevättäyskierrosta, joka tuo hapekasta vettä pohjalle ja olosuhteet ovat tasaiset koko vesipatsaassa. Hypoteesin mukaisesti suurin kappale- ja biomassayksikkösaalis vuoden aikana oli litoraalissa ja pienin saalis profundaalissa. Litoraalissa riittää kaikenlaista ravintoa ja kasvillisuutta, jota voi käyttää piiloutumiseen, mikä tekee siitä hyvän elinympäristön monille lajeille vuoden ympäri. Profundaalista saalista tuli tasaisesti koko vuoden, mutta kokonaisyksikkösaalis oli kuitenkin kolmesta habitaatista pienin. Pelagiaalista saalista tuli hyvin epätasaisesti, mutta kesän suuri saalis kasvatti pelagiaalin kokonaisyksikkösaalista merkittävästi. Merkittävin saaliskala pelagiaalista kesällä oli salakka, joka viihtyy kesällä pelagiaalissa, jossa on sille runsaasti planktonia.

Biomassayksikkösaalis noudatti melko hyvin kappaleyksikkösaalista kaikissa habitaateissa, mutta pelagiaalissa syys-, loka-, joului- ja helmikuussa biomassayksikkösaalis oli korkea verrattuna kappaleyksikkösaaliiseen. Kaikkina näinä kuukausina pelagiaaliverkoista saatiin melko suuria kuhia, jotka nostivat biomassayksikkösaalista. Helmikuussa pelagiaalista saatiin paljon suuria kuhia, mikä on erikoista talvella. Tämä voi johtua siitä, että kuhat olivat pinnan tuntumassa saalistamassa kaloja. Profundaalin biomassayksikkösaaliissa ei ollut merkitsevää eroa kuukausien välillä. Profundaalista tulikin tasaisesti kalaa koko vuoden, mutta kappaleyksikkösaaliissa oli vuoden aikana merkitsevää eroa. Biomassana kalaa tuli siis vielä tasaisemmin.

#### 4.4 Hypoteesi 3: Kuntokertoimen ja koon muutokset

Kalojen korkean kuntokertoimen aika sijoittui kesälle, jolloin ravintoa oli paljon saatavilla. Kesä on kalojen kasvun aikaa, joten kalojen paino ja kuntokerroin nousevat. Kuntokertoimen suurimmat arvot ajoittuvat vuoden aikana yleensä korkeimman lämpötilan ja suurimman perustuotannon aikaan (Amundsen ja Knudsen, 2009; Hayden ym., 2014). Talvella kalat syövät vähemmän ja käyttävät vararavintoa, joten niiden paino laskee, jolloin myös kuntokerroin laskee (Shuter ym., 2012; McMeans ym., 2020). Kalojen keskimääräinen kuntokerroin laski kesäkuussa paljon, vaikka se oli edellisenä ja seuraavana kuukautena korkea. Tämä voi johtua siitä, että monien Pääjärven kalalajien kutuaika on keväällä ja ne ovat kuteneet ennen kesäkuuta, jolloin ne painavat vähemmän. Korkein keskimääräinen kuntokerroin oli huhtikuussa. Tähän vaikuttaa myös kutuaika, koska juuri ennen kutua gonadit turpoavat ja siten kalat painavat enemmän (Hayden ym., 2014). Laji, joka huhtikuun ja kesäkuun kuntokertoimeen voi varsinkin vaikuttaa on särki, koska särjen osuus saaliista näinä kuukausina oli hyvin suuri. Hypoteesin vastaisesti siis kuntokerroin oli korkea keväällä. Alhaisin kuntokerroin oli kaloilla, jotka saatiin solmuvälistä 15 mm, mikä voi johtua siitä, että tämä solmuväli pyytää kaloja, joiden muoto on pitkä ja solakka, joten kuntokerroin on alhainen.

Kalojen keskipaino ja -pituus olivat hypoteesin mukaisesti suurempia talvella kuin kesällä. Tämä johtuu siitä, että talvella petokalojen osuus saaliista oli suuri ja saadut petokalat olivat myös melko suuria. Suuria petokaloja saatiin myös kesällä, mutta muita, pienempiä kaloja saatiin niin paljon, että suuret kalat eivät vaikuta kalojen keskikokoon. Suuremmat yksilöt pärjäävät talvella paremmin, koska niillä on enemmän vararavintoa ja niiden metaboliataso sekä optimilämpötila ovat pienempiä kaloja alhaisemmat (Cargnelli ja Gross, 1997; Shuter ym., 2012). Petokaloille riittää talvellakin saalista muista kaloista, mutta useiden muiden kalojen ravintokohteet ovat vähissä. Ravinnon etsiminen myös kuluttaa energiavarantoja, joita pienillä kaloilla on vähemmän, eikä löydetty ravinto välttämättä korvaa menetettyä energiaa (Shuter ym., 2012). Pienemmät kalat eivät siis syö talvella juurikaan eivätkä siten ole aktiivisia. Pienet kalat voivat myös joutua saaliiksi helpommin kuin kookkaammat kalat, joten pienillä kaloilla ravinnon etsimiseen liittyy talvella riskinsä (Cargnelli ja Gross, 1997). Suuremmat kalat voivat pienemmällä ponnistuksella käyttää ravinnon etsimisessä hyväkseen suurempaa aluetta (McMeans ym., 2016), ja kohtaavat siten talvella pieniä kaloja todennäköisemmin verkon.

Suurin saalis saatiin verkkosarjan solmuvälistä 12 mm, koska runsaslukuiset lajit särki, ahven, kiiski ja salakka ovat pieniä kaloja, jotka jäävät kiinni tähän solmuväliin. Toiseksi runsain solmuväli oli 20 mm, joka on myös paljon särkeä pyytävä solmuväli. Petokalojen suuren määrän helmi- ja maaliskuussa huomaa myös näiden kuukausien suurinta biomassaa pyytävistä suurista solmuväleistä. Koko vuoden aikana suurinta biomassaa pyytävä solmuväli oli 25 mm. VEKARY-verkkosarjalla tehdyissä koekalastuksissa runsaimmat solmuvälit ovat olleet rehevässä Björnträsk-järvessä 12 mm sekä kappalemääränä, että biomassana, hieman syvemmassä Vikträsk-järvessä 15 mm kappalemääränä, 20 mm biomassana, isossa ja rehevässä Humaljärvessä 15 mm sekä kappalemääränä, että biomassana ja isossa, oligotrofisessa Konnevedessä 12 mm kappalemääränä ja 20 mm biomassana (Ranta, 1992; Ranta, 1998; Puttonen ja Valkeajärvi, 2000). Rehevässä, humuspitoisessa ja happamassa Keiskinjärvessä vaihtelevilla solmuväleillä (10, 12, 15, 18, 21, 25, 33, 38, 40, 45 ja 50 mm) kalastettaessa runsainta kalamäärää pyytävä solmuväli oli 21 mm (Karkkonen, 2013). Näistä järvistä lähimpänä Pääjärven runsaimpia solmuvälejä oli Konnevesi, joka on myös eniten Pääjärven kaltainen. Rehevissä järvissä on näiden tulosten perusteella Pääjärveä pienempiä kaloja. Tulos on samanlainen kuin Hayden ym., (2017) tutkimuksessa, jossa todettiin kalojen yhteisörakenteen muuttuvan kookkaammista lajeista pienempiin järven tuottavuuden noustessa.

NORDIC-verkosta saatiin saaliiksi kaikkia vuoden aikana saatuja kaloja, paitsi kuoretta, jota saatiinkin vuoden aikana vain kaksi yksilöä. Eniten NORDIC-verkosta saatiin ahventa, toiseksi eniten särkeä. Tämä tulos on samankaltainen kuin Sairanen (2006) tutkimuksessa, jossa Pääjärven runsain laji oli koekalastusten perusteella ahven, kun NORDIC oli ainoa käytetty verkko. Jos tässä pro gradu -tutkimuksessa olisi käytetty vain NORDIC-verkkoa, ahven olisi saattanut olla runsain laji. Keskipaino ja -pituus NORDIC-verkossa vaihtelivat vuoden aikana jonkin verran, mutta olivat suurimmaksi osaksi koko saaliin yhteiskeskipainoa ja -pituutta alhaisemmat, koska NORDIC pyytää paremmin pientä kuin suurta kalaa, varsinkin pientä ahventa. Huhti- ja toukokuussa kuitenkin keskipaino ja -pituus olivat melkein samanlaisia kokonaissaaliissa ja NORDIC-verkossa. Näinä kuukausina NORDIC-verkosta ei tullut niin pieniä kaloja kuin useina muina kuukausina, eikä kookkaita kaloja tullut paljoa muistakaan verkoista. Pieniä kaloja tuli NORDICIin enemmän loppukesästä, koska silloin saman vuoden ahvenet ovat saavuttaneet pituuden, jossa ne jäävät kiinni verkkoon. Pieni keskipaino ja -pituus kertovat siitä, että suuria petokaloja ei NORDIC-verkosta saada juuri lainkaan. Vuoden 2004 Helsingin yliopiston kalakurssilla



vertailtiin NORDIC-verkon ja HAPRO-verkkosarjan saalista, joka oli verkkosarjassa huomattavasti NORDICia suurempi (Karvinen ja Ojala, 2004). Verkkosarjan pinta-ala on yleiskatsausverkkoa suurempi, mikä mahdollistaa suuremman saaliin. Samalla kurssilla kuitenkin vuosina 2006 ja 2008 NORDIC-verkon saalis oli HAPRO-sarjaa suurempi kappaleina, mutta pienempi biomassana (Lösönen ja Montin, 2006; Heiskanen ym., 2008). Tämä osoittaa, että NORDIC-verkko pyytää paljon pientä kalaa, kun HAPRO-verkkosarjassa solmuvälit ovat painottuneet suurempiin solmuväleihin. NORDIC-verkosta saatiin 2004 enemmän kuhaa ja HAPRO-sarjasta enemmän särkeä, mutta 2008 tulos oli päinvastainen ja 2006 HAPRO-verkkosarjasta tuli enemmän särkeä sekä kuhaa ja NORDIC-verkosta saatiin enemmän ahvenia (Karvinen ja Ojala, 2004; Lösönen ja Montin, 2006; Heiskanen ym., 2008).

#### **4.5 Hypoteesi 4: Yksikkösaalista selittävät tekijät**

Ympäristömuuttujista veden lämpötila, valonmäärä, klorofylli-a ja pH korreloivat positiivisesti yksikkösaaliin kanssa. Lämpötilan ja valon arvot ovat luontaisesti korkeampia kesällä kuin talvella ja niiden kasvu kesää kohti kasvattaa järvessä tapahtuvaa perustuotantoa, mikä puolestaan nostaa klorofylli-a:n ja pH:n arvoja (Shuter ym., 2012; Hayden ym., 2014; Hampton ym., 2017). Klorofylli-a:n arvot indikoivat suoraan kasviplanktonin määrää ja siten perustuotannon määrää (Hampton ym., 2017). Perustuotantoon liittyvien ympäristömuuttujien arvot korreloivat positiivisesti yksikkösaaliin kanssa, koska perustuotannon kasvu lisää myös kalojen ravintokohteita ja siten niiden aktiivisuutta (Hayden ym., 2014; Hampton ym., 2017; Keva ym., 2017).

Ympäristömuuttujista happipitoisuus, kokonaishiili, typpipitoisuus, vedenväri, jäänpaksuus ja lumensyvyys korreloivat yksikkösaaliin kanssa negatiivisesti, koska niiden arvot ovat järvissä luontaisesti alempia kesällä (Huotari ym., 2013; Hampton ym., 2017; Marsden ym., 2021). Hapen kyllästysaste oli kesällä korkeampi kuin talvella, mutta kesällä liuenneen hapen määrä oli alhaisempi, koska lämpimään veteen liukenee vähemmän happea (Marsden ym., 2021). Talvella typpeä on vedessä enemmän kuin kesällä, koska talvella itseensä typpeä sitovia perustuottajia on vähemmän ja typpeä ei siten kulu juurikaan. Typpeä myös mineralisoituu talvella enemmän (Hampton ym., 2017). Keväällä typen määrä oli suuri, mikä johtune kevään suuresta huuhtoumasta. Kokonaishiilen arvot ovat suurimpia keväällä lumien sulamisen ja suuren huuhtouman aikaan. Alhaisimpia hiilen arvot ovat loppukesästä, jolloin virtaama on alhainen ja osa orgaanisesta hiilestä on sedimentoitunut (Huotari ym., 2013). Orgaanisen hiilen määrä vaikuttaa suoraan veden väriin, ja hiili- sekä väriarvot

muuttuvatkin hyvin samalla tavalla Pääjärven vuoden aikana. Orgaanisen hiilen vähäinen määrä ja kirkkaampi veden väri kesällä vaikuttavat kalojen elämään siten, että kalat näkevät paremmin saalistaa ja ovat aktiivisempia, joten saatu yksikkösaalis on suurempi. Jäätä ja lunta ei ole muina vuodenaikoina kuin talvella, jolloin saatu yksikkösaalis oli vähäinen. Jää ja lumi vaikuttavat veteen pääsevän valon määrään, mikä taas vaikuttaa kalojen kykyyn saalistaa näön avulla.

Usean selittävän muuttujan regressiomallit selittävät kappaleyksikkösaaliista 71,6% ja biomassayksikkösaaliista 58,4%. Ero näiden välillä voi johtua siitä, että kappale- ja biomassayksikkösaaliiden keskiarvot eivät ole täysin samanlaisia toistensa kanssa. Esimerkiksi kappaleyksikkösaalis on suurin elokuussa, mutta biomassayksikkösaalis heinäkuussa. Lämpötila on myös korkein elokuussa ja typen määrä alhaisin, joten nämä selittävät hyvin kappaleyksikkösaalista. Biomassayksikkösaaliissa ei ollut yhtä selkeää runsainta kuukautta, joten muuttujien selitysarvot eivät ole yhtä voimakkaita kuin kappaleyksikkösaaliin kanssa.

Yksikkösaalista selittävien muuttujien regressiokertoimien mukaan lämpötila on tärkein kappaleyksikkösaalista selittävä tekijä. Lämpötila on kesäisin selvästi talvea korkeampi, mikä korreloi selvästi yksikkösaaliin kesäisen kasvun kanssa. Sekä kappaleyksikkösaalis, että lämpötila olivat korkeimpia elokuussa. Vaihtolämpöisinä eläiminä kalojen ruumiinlämpö laskee talvella veden lämpötilan mukana, jolloin ne ovat vähemmän aktiivisia, mikä selittää vahvasti yksikkösaaliin muutoksia kesän ja talven välillä (Beitinger ja Fitzpatrick, 1979; McMeans ym., 2020). Toiseksi tärkein kappaleyksikkösaalista selittävä muuttuja oli kuntokerroin, joka ei seuraa yksikkösaaliin muutoksia yhtä hyvin kuin lämpötila, koska kuntokerroin ei noussut kesää kohti tasaisesti. Kuntokerroin ei korreloi minkään muun muuttujan kanssa merkittävästi, minkä vuoksi se on hyvä muuttuja regressiomallissa. Kuntokerroin oli regressiokertoimen mukaan tärkein biomassayksikkösaalista selittävä tekijä. Toiseksi tärkein tekijä oli lumensyvyys. Lunta oli pelkästään tammi-maaliskuussa, jolloin yksikkösaalis oli kaikista pienin, joten lumensyvyys on hyvä yksikkösaaliin selittäjä. Yksi kappaleyksikkösaaliin selittäjä regressioanalyysissä oli pH, koska se osoittaa tuotannon määrää, mikä vaikuttaa kalojen ravinnon määrään ja aktiivisuuteen. Typpi oli valittu regressioanalyysissä kappaleyksikkösaaliin selittäjäksi ja se ei korreloikaan merkittävästi minkään muun regressioanalyysin muuttujan kanssa. Typpipitoisuus korreloi perustuotannon ja kalojen aktiivisuuden kanssa. Toinen kalojen aktiivisuuteen vaikuttava tekijä oli orgaaninen hiili, joka vaikuttaa kalojen näkökykyyn

talvella, joten hiilen määrä selittää hyvin yksikkösaalista. Hiilen määrä ei juurikaan korreloi muiden muuttujien kanssa, joten se sopii hyvin regressiomalliin.

Hypoteesissa oletettiin valon, jäänpaksuuden ja klorofylli-a:n olevan tärkeitä regressiomalliin valittavia muuttujia, mutta näin ei ollut. Jäänpaksuudessa oli suurta hajontaa niiden kolmen kuukauden sisällä, joissa jäää oli, ja se myös korreloi suuresti lumen arvojen kanssa, eikä kahta toistensa kanssa korreloivaa muuttujaa valita yhtälöön. Näistä syistä jää voi puuttua regressioanalyysistä. Valoa oli vedessä selvästi enemmän kesällä kuin talvella, eniten keskikesällä, mikä kuvaa vuoden kiertoa. Valo korreloi vahvasti lämpötilan kanssa, joten valo ei välttämättä toimi hyvänä yksikkösaaliin selittäjänä. Klorofylli-a nousee niin ikään kesää kohti, mutta heinäkuussa siinä on melko suuri lasku, mikä johtuu kasviplanktonin kevätmaksimin loppumisesta (Sommer ja Lengfellner, 2008). Klorofylli myös korreloi monien perustuotantoon liittyvien tekijöiden kanssa, mikä arvojen vaihtelun kanssa estää klorofyllin toimimisen regressiomalliin valittavana yksikkösaaliin selittäjänä. Muillakin järvillä usean selittävän muuttujan regressiomalli näyttäisi melkein samanlaiselta kuin tämä Pääjärvestä saatu malli, koska lämpötila, kuntokerroin ja lumi ovat yleensä selvästi erilaisia eri vuodenaikoina. pH on yleensä myös korkeampi suuremman tuottavuuden aikaan. Kuitenkin kokonaishiilen määrä yksikkösaalista selittävänä tekijänä ei varmaankaan kaikilla järvillä valikoituisi malliin, koska Pääjärvi on humuspitoinen järvi, jossa hiilen määrä on suuri ja vaikuttaa kalojen elämään. Pääjärvestä myös typpipitoisuus on suuri ja vaihtelu vuoden sisällä on suurta, mikä ei välttämättä ole tilanne muissa järvissä (Hampton ym., 2017).

## **5 Johtopäätökset**

Pääjärven kalaston rakenteessa oli huomattavissa selkeitä muutoksia vuoden aikana, erityisesti kesän ja talven välillä. Suurin muutos oli havaittavissa yksikkösaaliin kasvussa talvelta kesälle, monet muut muutokset eivät olleet yhtä näkyviä. Muutamien lajien prosenttiosuuksissa oli muutoksia, jotka olivat usein hypoteesin mukaisia, mutta yleensä harvempien lajien osuuksien muutokset eivät olleet yhtä helposti havaittavissa. Salakan, kiiskan, kuhan ja mateen osuudet muuttuivat paljon ja lajeille ominaisesti lämpötilasopeuman mukaan. Särjen osuuden vaihtelut eivät olleet yhtä yksiselitteisiä ja ahvenen osuuden muutos ei vastannut hypoteesia. Lämpimänveden lajeja oli odottamattomasti vuoden ympäri eniten, mikä johtuu järven laijakaumasta; lämpimänveden lajit ovat Pääjärvestä dominoiva lämpötilakilta. Aikaisempien Pääjärven kalastotutkimusten

mukaisesti Pääjärven kaksi runsainta kalalajia ovat särki ja ahven. Kuhan määrä Pääjärvessä on kasvanut vuosien saatossa poikasistutusten ja kuhalle sopivien olosuhteiden ansiosta. Pääjärven eri habitaateista saatu saalismäärä vastasi hypoteesissa odotettua jakaumaa, vaikkakin vuodenaikojen välillä oli eroja. Pelagiaalin saalismäärän muutokset vastasivat pelagisten kalojen salakan, muikun ja siian määrien muutosta vuoden aikana. Verkoilla saatujen kalojen koon muutokset vastasivat odotettua kasvua talvea kohti ja tulos oli ehkä hieman odotettua suurempi. Tähän työhön kuuluneet koekalastukset toteutettiin vain Pääjärven länsipäässä, ei itäpäässä, jossa on suurempi litoraalialue, ja mahdollisesti erilainen kalayhteisön koostumus. Tämän tutkimuksen tulokset eivät siis välttämättä kerro koko totuutta Pääjärven kalaston koostumuksesta. Pääjärven kalaston rakenteen muutoksia on syytä tutkia jatkossakin järvessä tapahtuvan hitaan rehevöitymisen ja muiden ympäristömuutosten, kuten ilmaston lämpenemisen vaikutusten tutkimiseksi. Tulevaisuudessa koekalastusta kannattaisi tehdä koko järven alueella.

Tämä tutkielma toi uutta tietoa kalojen elämästä järven talviolioissa. Vanhat oletukset kalojen hiljaiselosta jään alla eivät pidä paikkaansa, ja järvissä elää kalalajeja, joille talvi on aktiivisinta aikaa vuodesta. Samankaltaista tutkimusta olisi syytä tehdä muissakin järvissä, jotka edustaisivat erilaisia ympäristöoloja kuin Pääjärvi. Pääjärvi ei ole tyypillinen suomalainen järvi syvyytensä, kokonsa ja typpipitoisuutensa vuoksi. Muissa järvissä myös muut fysikaaliskemialliset olosuhteet, kuten happipitoisuus ja orgaanisen hiilen määrä voivat olla erilaisia. Näistä syistä kalojen reagoiminen vuodenaikojen muutoksiin voi olla eri järvissä hyvinkin erilainen, koska varsinkin happipitoisuuden ja veden värin muutokset voivat olla erilaisia. Ympäri vuotista tutkimusta on syytä tehdä tulevaisuudessa uudestaan myös Pääjärvessä, koska olosuhteet, varsinkin rehevyystaso sekä veden väri, voivat muuttua, ja ilmastomuutos tulee vaikuttamaan vuodenaikojen kiertoon.

## **6 Kiitokset**

Haluan kiittää Kimmo Kahilaista tämän pro-gradututkielman ohjauksesta, Lammin biologista asemaa tutkimustiloista ja kenttävarusteista, Lammin biologisen aseman Ympäristötutkimuksen säätiötä apurahasta, Riitta Ilolaa ja Jaakko Vainionpäättä vesikemia-analyyseistä, sekä Eszter Megyeriä, Paul Banguraa, Helene Laihoa, Esa-Pekka Tuomista, Pekka Jokelaa, Antti Taurua ja Jaana Marttilaa avusta kenttätöissä.

## 7 Lähteet

- Ahvonen, A., Hakaste, T., & Reinikainen, T. (1983). Kalasto. *Vesistötutkimuksen perusmenetelmät käytännön sovellutukset, Kurssiselostus 1983, s. 60-64, Helsingin yliopisto, Limnologian laitos.*
- Amundsen, P., & Knudsen, R. (2009). Winter ecology of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) and brown trout (*Salmo trutta*) in a subarctic lake, Norway. *Aquatic Ecology*, 43, 765-775.
- Appelberg, M., Berger, H. M., Hesthagen, T., Kleiven, E., ..., & Rask, M. (1995). Development and intercalibration of methods in Nordic freshwater fish monitoring. *Water Air and Soil Pollution*, 85, 401-406.
- Bašić, T., Britton, J. R., Rice, S. P., & Pledger, A. G. (2017). Impacts of gravel jetting on the composition of fish spawning substrates: Implications for river restoration and fisheries management. *Ecological Engineering*, 107, 71–81.
- Beitinger, T. L., & Fitzpatrick, L. C. (1979). Physiological and ecological correlates of preferred temperature in fish. *American Zoologist*, 19, 319-329.
- Bruesewitz, D. A., Carey, C. C., Richardson, D. C., & Weathers, K. C. (2015). Under-ice thermal stratification dynamics of a large, deep lake revealed by high-frequency data. *Limnology and Oceanography*, 60, 347-359.
- Cargnelli, L. M., & Gross, M. R. (1997). Fish energetics: larger individuals emerge from winter in better condition. *Transactions of the American Fisheries Society*, 126, 153-156.
- Dukowska, M., Grzybkowska, M., Kruk, A., & Szczerkowska-Majchrzak, E. (2013). Food niche partitioning between perch and ruffe: Combined use of a self-organising map and the IndVal index for analysing fish diet. *Ecological Modelling*, 265, 221-229.
- Eloranta, A. P., Vejříková, I., Čech, M., Vejřík, L., ..., & Peterka, J. (2017). Some like it deep: Intraspecific niche segregation in ruffe (*Gymnocephalus cernua*). *Freshwater Biology*, 62, 1401-1409.
- Fernandes, T., & McMeans, B. C. (2019). Coping with the cold: Energy storage strategies for surviving winter in freshwater fish. *Ecography*, 42, 2037-2052.
- Froese, R. (2006) Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22, 241-253.

- Hampton, S. E., Galloway, A. W. E., Powers, S. M., Ozersky, T., ..., & Xenopoulos, M. A. (2017). Ecology under lake ice. *Ecology Letters*, 20, 98-111.
- Hayden, B., Harrod, C., & Kahilainen, K. K. (2014). Dual fuels: Intra-annual variation in the relative importance of benthic and pelagic resources to maintenance, growth and reproduction in a generalist salmonid fish. *Journal of Animal Ecology*, 83, 1501-1512.
- Hayden, B., Harrod, C., Sonninen, E., & Kahilainen, K. K. (2015). Seasonal depletion of resources intensifies trophic interactions in subarctic freshwater fish communities. *Freshwater Biology*, 60, 1000-1015.
- Hayden, B., Myllykangas, J. P., Rolls, R. J., & Kahilainen, K. K. (2017). Climate and productivity shape fish and invertebrate community structure in subarctic lakes. *Freshwater Biology*, 62, 990-1003.
- Heiskanen, J., Korhonen, A., & Vehmaskangas, V. (2008). Hapro-verkkosarjan ja Nordic-yleiskatsausverkon saaliiden vertailu Lammin Pääjärvellä. *Kalantutkimus, harjoitustyöt, Kurssiraportit, s. 58-63, Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos*.
- Horppila, J., & Kairesalo, T. (1992). Impacts of bleak (*Alburnus alburnus*) and roach (*Rutilus rutilus*) on water quality, sedimentation and internal nutrient loading. *Hydrobiologia*, 243, 323-331.
- Hovgard, H. (1996). A two-step approach to estimating selectivity and fishing power of research gill nets used in Greenland waters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53, 1007-1013.
- Huotari, J., Nykänen, H., Forsius, M., & Arvola, L. (2013). Effect of catchment characteristics on aquatic carbon export from a boreal catchment and its importance in regional carbon cycling. *Global Change Biology*, 19, 3607-3620.
- Hökkä, M., Pakarinen, T., & Romakkaniemi, A. (1985). Pääjärven kalasto. *Vesistö tutkimuksen perusmenetelmät käytännön sovellutukset, Kurssiselostus 1985, s. 91-98, Helsingin yliopisto, Limnologian laitos*.
- Jackson, J. R. (2007). Earliest references to age determination of fishes and their early application to the study of fisheries. *Fisheries*, 32, 321-328.
- Jurvelius, J., & Marjomäki, T. J. (2004). Vertical distribution and swimming speed of pelagic fishes in winter and summer monitored *in situ* by acoustic target tracking. *Boreal Environment Research*, 9, 277-284.

- Kahilainen, K. K., Thomas, S. M., Nystedt, E. K. M., Keva, O., ..., & Hayden, B. (2017). Ecomorphological divergence drives differential mercury bioaccumulation in polymorphic European whitefish (*Coregonus lavaretus*) populations of subarctic lakes. *Science of the Total Environment*, 599-600, 1768-1778.
- Karkkonen, S. (2013). Keiskinjärven fysikaalis-kemiallinen ja ekologinen tila. Selvitys kunnostussuunnitelmaa varten. *Centria ammattikorkeakoulu, Opinnäytetyö*, 53 s.
- Karvinen, V., & Ojala, T. (2004). NORDIC-yleiskatsausverkon ja HAPRO-verkkosarjan antaman saaliin vertailu Lammin Pääjärvellä. *Kalantutkimuksen harjoitustyöt*, s. 5-9, Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos.
- Keva, O., Hayden, B., Harrod, C., & Kahilainen, K. K. (2017). Total mercury concentrations in liver and muscle of European whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) in a subarctic lake - Assessing the factors driving year-round variation. *Environmental Pollution*, 231, 1518-1528.
- Keva, O., Tang, P., Käkälä, R., Hayden, B., ..., & Kahilainen, K. K. (2019). Seasonal changes in European whitefish muscle and invertebrate prey fatty acid composition in a subarctic lake. *Freshwater Biology*, 64, 1908-1920.
- Kjellman, J., & Eloranta, A. (2002). Field estimations of temperature-dependent processes: Case growth of young burbot. *Hydrobiologia*, 481, 187-192.
- Kottelat, M., & Freyhof, J. (2007). Handbook of European freshwater fishes. *Publications Kottelat, Cornol and Freyhof, Berliini*. 646 s.
- Kurkilahti, M., & Rask, M. (1996). A comparative study of the usefulness and catchability of multimesh gill nets and gill net series in sampling of perch (*Perca fluviatilis* L.) and roach (*Rutilus rutilus* L.). *Fisheries Research*, 27, 243-260.
- Kurkilahti, M. (1999). Nordic multimesh gillnet – Robust gear for sampling fish populations. *Turun yliopisto, Biologian laitos, Väitöskirja*, 27 s.
- Kurkilahti, M., Appelberg, M., Hesthagen, T., & Rask, M. (2002). Effect of fish shape on gillnet selectivity: A study with Fulton's condition factor. *Fisheries Research*, 54, 153-170.
- Lehtonen, H., Rask, M., Pakkasmaa, S., & Hesthagen, T. (2008). Freshwater fishes, their biodiversity, habitats and fisheries in the nordic countries. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 11, 298-309.

- Lempinen, P., Virtanen, K., & Wallgren, M. (1988). Pääjärven kalasto. *Vesistötutkimuksen perusmenetelmät käytännön sovellutukset, Kurssiselostus 1988, s. 82-88, Helsingin yliopisto, Limnologian laitos.*
- Lucchetti, A., Virgili, M., Petetta, A., & Sartor, P. (2020). An overview of gill net and trammel net size selectivity in the Mediterranean Sea. *Fisheries Research*, 230, 105677.
- Lösönen, M., & Montin, L. (2006). NORDIC-yleiskatsausverkon ja Hapro-verkkosarjan antaman saaliin vertailu Lammin Pääjärvellä. *Kalantutkimus, harjoitustyöt, kurssiraportit, s. 41-49, Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos.*
- Magnuson, J. J., Crowder, L. B., & Medvick, P. A. (1979). Temperature as an ecological resource. *American Zoologist*, 19, 331-343.
- Malinovskyi, O., Veselý, L., Blecha, M., Křišťan, J., & Policar, T. (2018). The substrate selection and spawning behaviour of pikeperch *Sander lucioperca* L. broodstock under pond conditions. *Aquaculture Research*, 49, 3541-3547.
- Marsden, J. E., Blanchfield, P. J., Brooks, J. L., Fernandes, T., ..., & Cooke, S. J. (2021). Using untapped telemetry data to explore the winter biology of freshwater fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 31, 115-134.
- McMeans, B. C., McCann, K. S., Tunney, T. D., Fisk, A. T., ..., & Rooney, N. (2016). The adaptive capacity of lake food webs: from individuals to ecosystems. *Ecological Monographs*, 86, 4-19.
- McMeans, B. C., McCann, K. S., Guzzo, M. M., Bartley, T. J., ..., & Shuter, B. J. (2020). Winter in water: Differential responses and the maintenance of biodiversity. *Ecology Letters*, 23, 922-938.
- Mikola, J., & Uotila, L. (1990). Pääjärven kalasto. *Kalabiologian kurssi, s. 2-6, Turun yliopisto, Biologian laitos.*
- Morozov, A. A., Chuiko, G. M., & Yurchenko, V. V. (2017). Annual variations in hepatic antioxidant defenses and lipid peroxidation in a temperate fish, common bream *Abramis brama* (L.). *International Aquatic Research*, 9, 249-257.
- Nurminen, L., Horppila, J., Lappalainen, J., & Malinen, T. (2003). Implications of rudd (*Scardinius erythrophthalmus*) herbivory on submerged macrophytes in a shallow eutrophic lake. *Hydrobiologia*, 506-509, 511-518.



Nyberg, P., Bergstrand, E., Degerman, E., & Enderlein, O. (2001). Recruitment of pelagic fish in an unstable climate: Studies in Sweden's four largest lakes. *Ambio*, 30, 559-564.

Olin, M. (2005). Fish communities in South-Finnish lakes and their responses to biomanipulation assessed by experimental gillnetting. *Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Väitöskirja*, 32 s.

Olin, M., Rask, M., Estlander, S., Horppila, J., ..., & Lehtonen, H. (2017). Roach (*Rutilus rutilus*) populations respond to varying environment by altering size structure and growth rate. *Boreal Environment Research*, 22, 119-136.

Prchalová, M., Kubečka, J., Říha, M., Mrkvička, T., ..., & Křížek, J. (2009). Size selectivity of standardized multimesh gillnets in sampling coarse european species. *Fisheries Research*, 96, 51-57.

Puttonen, T., & Valkeajärvi, P. (2000). Konneveden koekalastukset sekä verkkosarjojen vertailu vuonna 1996. *Kala- ja riistaraportteja nro 191, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos*, 27 s.

Pörtner, H. O. (2002). Physiological basis of temperature-dependent biogeography: Trade-offs in muscle design and performance in polar ectotherms. *Journal of Experimental Biology*, 205, 2217-2230.

Radomski, P., Anderson, C. S., Bruesewitz, R. E., Carlson, A. J., & Borkholder, B. D. (2020). An assessment model for a standard gill net incorporating direct and indirect selectivity applied to walleye. *North American Journal of Fisheries Management*, 40, 105-124.

Rahikainen, E., & Räike, A. (1987). Pääjärven kalasto. *Vesistötutkimuksen perusmenetelmät käytännön sovellutukset, Kurssiselostus 1987, s. 77-80, Helsingin yliopisto, Limnologian laitos*.

Ranta, E. (1992). Siuntionjoen vesistön kalataloudellinen yhteistarkkailu 1991. *Julkaisu 18, Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry*, 24 s.

Ranta, E. (1998). Humaljärven kalataloudellinen tarkkailu vuosina 1997-1998. *Julkaisu 84, Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry*, 29 s.

Rudstam, L. G., Magnuson, J. J., & Tonn, W. M. (1984). Size selectivity of passive fishing gear: a correction for encounter probability applied to gill nets. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41, 1252-1255.

- Ruuhijärvi, J., Olin, M., Malinen, T. T., Ala-Opas, P., ..., & Lehtonen, H. (2014). Kuhan kalastuksen ohjaus ja sen ekologiset, taloudelliset ja sosiaaliset vaikutukset sisävesillä. *RKTL:n työraportteja, Nro 43, 38 s., Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, RKTL, Helsinki.*
- Sairanen, S. (2006). Pääjärven kalayhteisön rakenne sekä ahvenen (*Perca fluviatilis*), särjen (*Rutilus rutilus*) ja kuhan (*Sander lucioperca*) kasvu. *Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Pro-gradu tutkielma, 36 s.*
- Sarvala, J., Heikkilä, N., Helminen, U., & Porsanger, L. (1994). Kalabiologian kurssi. *Turun yliopisto, Biologian laitos, s. 1-6.*
- Sarvala, J., Helminen, H., & Ventelä, A. (2020). Overfishing of a small planktivorous freshwater fish, vendace (*Coregonus albula*), in the boreal lake Pyhäjärvi (SW Finland), and the recovery of the population. *Fisheries Research, 230*, 105664.
- Shuter, B. J., Finstad, A. G., Helland, I. P., Zweimüller, I., & Hölker, F. (2012). The role of winter phenology in shaping the ecology of freshwater fish and their sensitivities to climate change. *Aquatic Sciences, 74*, 637-657.
- Šmejkal, M., Ricard, D., Prchalová, M., Říha, M., ..., & Kubečka, J. (2015). Biomass and abundance biases in European standard gillnet sampling. *PLoS One, 10*, e0122437.
- Sommer, U., & Lengfellner, K. (2008). Climate change and the timing, magnitude, and composition of the phytoplankton spring bloom. *Global Change Biology, 14*, 1199-1208.
- Suski, C. D., & Ridgway, M. S. (2009). Seasonal pattern of depth selection in smallmouth bass. *Journal of Zoology, 279*, 119-128.
- Talbot, C. (1993). Some aspects of the biology of feeding and growth in fish. *Proceedings of the Nutrition Society, 52*, 403-416.
- Tammi, J., Appelberg, M., Beier, U., Hesthagen, T., ..., & Rask, M. (2003). Fish status survey of Nordic lakes: Effects of acidification, eutrophication and stocking activity on present fish species composition. *Ambio, 32*, 98-105.
- Turunen, T., Kurkilahti, M., Suuronen, P. (1998). Gill net catchability and selectivity of whitefish (*Coregonus lavaretus* L. s.l.): seasonal effect of mesh size and twine diameter. *Advances in Limnology 50: Biology and Management of Coregonid Fishes - 1996, 50*, 429-437.

- Tveiten, H., Johnsen, H. K., & Jobling, M. (1996). Influence of maturity status on the annual cycles of feeding and growth in Arctic charr reared at constant temperature. *Journal of Fish Biology*, 48, 910-924.
- Viljanen, M. (1972). Kalojen ravinnosta ja kasvusta Pääjärvässä. *Helsingin yliopisto, Pro gradu tutkielma*, 88 s.
- Viljanen, M. (2000). Pääjärven kalasto ja yleiskatsausverkkojen pyytävyyssvertailu. *Kalaekologian kenttäkurssi, s. 2-16, Turun yliopisto, Biologian laitos*.
- Virbickas, T., Dementavičius, D., Rumbutis, S., Vaitkuviene, D., ..., & Treinys, R. (2021). Understanding recreational targets and ecological consequences: increased northern pike stocking reflected in top avian predator diet. *European Journal of Wildlife Research*, 67, 5.
- Wanzenböck, J., Pamminer-Lahnsteiner, B., Winkler, K., & Weiss, S. J. (2012). Experimental evaluation of the spawning periods of whitefish (*Coregonus lavaretus* complex) in Lake Mondsee, Austria. *Fundamental and Applied Limnology - Advances in Limnology*, 63, 89-97.